

# L'ELETTROTECNICA

GIORNALE ED ATTI DELLA

ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA

SOTTO GLI AUSPICI DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

REDAZIONE ED UFFICI DI  
AMMINISTRAZIONE E PUBBLICITÀ:

Milano 2/2 - Via S. Paolo, 10 - Telegr. «asselita»  
Telefoni 794.794 - 798.897 - c.c. postale 3/1189 Milano

Spedizione in abbonamento postale - Gruppo III

Proprietà letteraria - È vietato riprodurre articoli della presente rivista senza citarne la fonte



ABBONAMENTO PER IL 1961:

IN ITALIA L. 6.500 - ESTERO L. 8.500

Ai soci della A. E. I. un abbonamento gratis.

Ciascun fascicolo in Italia L. 650 Estero L. 800

(ai Soci dell'A.E.I., sconto 20%)

Nell'anno escono quattordici fascicoli

## SOMMARIO

### ARTICOLI:

Commemorazione del prof. Angelo Barbagelata - G. Someda . . . . .	747
I trasformatori nelle reti ad altissima tensione - A. Goldstein . . . . .	751
Contributo allo studio dell'avviamento delle macchine sincrone - F. Ciampolini . . . . .	764
Calcolo delle velocità critiche degli alberi rotanti mediante circuiti analogici - G. Basile . . . . .	777
Motori primi termici nell'anno 1960 - M. Medici . . . . .	782
Studi e progressi degli impianti di produzione di energia elettrica da fonti diverse da quelle tradizionali e dalla energia nucleare - F. Di Lecce . . . . .	793

### RUBRICHE VARIE:

Notizie e Informazioni: Impianto idroelettrico Stura di Demonte 2° salto . . . . .	796
Gli impianti del Consorzio Elettrico Buthier . . . . .	800
Palloni aerostatici per la messa in opera di conduttori . . . . .	802
Elettromagnete superconduttore - Un impianto termoelettrico a vapore . . . . .	803
Impianto combinato con turbine a vapore e a gas . . . . .	804
Centrale termoelettrica a vapore di Paradise . . . . .	805
Un'antenna televisiva di 510 m di altezza - Installazione di una linea ad alta tensione in località molto congestionata . . . . .	806
Un kWh con 300 grammi di carbone - Lampade con filamento di carburo di tantalio - Simposio sulla utilizzazione razionale dell'energia elettrica - Simposio internazionale su la teoria della informazione - Conferenza Internazionale di Termotecnica, XVII Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana ATI, Mostra di termotecnica - Esposizione riguardante la produzione di energia e la ricerca spaziale - VIII Simposio sul grado di fiducia e sul controllo di qualità nel campo dell'elettronica - Concorso per titoli a 14 posti di ingegnere «Capo Ufficio Principale» . . . . .	807
Corso di Specializzazioni in Telecomunicazioni, Servizi di Telecomunicazioni, Controlli Automatici e Calcolazioni - Corso di Perfezionamento in Ingegneria Nucleare «Giovanni Agnelli» - Festeggiamenti a un benemerito industriale elettrotecnico . . . . .	808
Libri e Pubblicazioni . . . . .	809
Dalle Riviste: Alcune applicazioni pratiche dell'effetto Hall - B. Devin . . . . .	811

### NOTIZIE SOCIALI:

Associazione Elettrotecnica Italiana: Premi AEI in palio per il 1962 - Minuta di verbale della seduta del Consiglio Generale (Torino, 17 settembre 1961) . . . . .	815
Notizie delle Sezioni: Sezione Sarda, Sezione Veneta . . . . .	818
Comitato Elettrotecnico Italiano: Riunioni dei Sottocomitati e delle Commissioni di studio del CEI avvenute nel mese di ottobre 1961 . . . . .	819
Riunione primaverile del 1961 della «Commission Internationale de réglementation en vue de l'approbation de l'équipement électrique» (CEE) . . . . .	820
Necrologio: dr. ing. Carlo Semenza . . . . .	823
Attività delle Sezioni . . . . .	824
Precisazione . . . . .	824

SUNTI E SOMMARI . . . . .	153 D
---------------------------	-------

### IN COPERTINA:

Cavo «sintoplastic» armato, isolato e protetto con materiale termoplastico speciale per 1 kV di esercizio 4 kV di prova.



# RUBRICA DELLE DITTE INSERZIONISTE

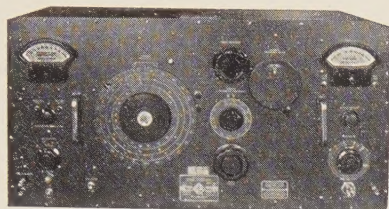
*La pubblicità è effettuata secondo le richieste dell'Inserzionista e non implica nè approvazione tecnica nè responsabilità da parte dell'A.E.I.*

	Pag.		Pag.		Pag.
Acc. e Tub. di Brescia - Brescia..	—	Erib - Milano .....	81	Palazzoli - Brescia .....	29
ACEC - Milano .....	39-39	Esso - Genova .....	35	Paravicini - Milano .....	—
Adda Officine - Lodi .....	99	Face - Milano .....	—	Passini e Rossi - Genova .....	69
Advance Comp. Hainault .....	69	Fantini & Cosmi - Milano .....	58	Passoni & Villa - Milano .....	31
AIECI - Milano .....	16	Fatme - Roma .....	11	Pasta - Milano .....	73
Alfacavi - Quattordio .....	108-109	FERR. Fabbr. Elettr. Riunite Mi- lano .....	97	Pellizzari - Arzignano .....	61
Amati & Gregorini - Milano .....	66	Ferranti - Hollinwood .....	95-96	Perazzone - Torino .....	26
Amp - Torino .....	9-10	Ferraris Terry - Milano .....	70	Pianelli & Traversa - Torino .....	101
Ampere - Milano .....	28	Ferraris Vittorio - Milano .....	53	Pilkington - St. Helens .....	102
Ansaldo - San Giorgio - Genova..	62	Ferrè - Milano .....	71	Pirelli - Milano .....	—
AOIP - Parigi .....	41	Fiamm - Montecchio .....	42	Pivi - Milano .....	28
Applicaz. Elettroniche - Milano..	24	Firchow - Berlino .....	54	Philips - Milano .....	—
Asca - Milano .....	—	Fitre - Milano .....	14	Pogliano - Torino .....	40
Ates - Aquila .....	—	Francioni - Milano .....	32	Pollice - Milano .....	52
Auriema - New York .....	20	Friem - Milano .....	60	Quartz & Silice - Milano .....	1
Bagnagatti - Milano .....	24	Fulgor - Genova .....	1 <sup>a</sup> cop.	Rapizzi - Parabiago .....	2
Basili-Feme - Milano .....	—	Fumagalli - Milano .....	—	Rau - Pforzheim .....	32
Bay - Milano .....	21-80	Galileo Officine - Battaglia Terme	86	Reinach - Milano .....	—
Belotti Ing. S. - Milano .....	5-92	Galileo Officine - Firenze .....	—	Reti .....	—
Belotti Agostino - Milano .....	24	Gavazzi - Milano .....	64-65	Richardson Allen Italiana - Milano	83
Beyerle - Milano .....	12-105-106	General Atomic Europa - Zurigo.	43	Risomesa - Milano .....	—
Bersanini - Milano .....	48	Gronza, Rabossi & C. - Milano..	14	RMT - Torino .....	16
Bigatti - Milano .....	27	Hewlett - Pakard-Ginevra .....	—	Rocca - Torino .....	22
Bosch - Stoccarda .....	—	Homburger - Genova .....	22	Romano - Torino .....	—
Boselli - Milano .....	18	Ice - Milano .....	3 <sup>a</sup> cop.	Rosani - Milano .....	36
Breda Elettromeccanica - Milano.	23	Incet - Torino .....	103	Rotos - Milano .....	—
Bristol Siddley - Inghilterra .....	94	International General Elec. Co. New York .....	79	Sace - Bergamo .....	84
Brizza - Milano .....	22	Inves - Quattordio .....	108-109	SAE Soc. An. Elettrif. - Milano ..	25
BR-Olii Minerali - Milano .....	—	Invox - Quattordio .....	108-109	Sael - Milano .....	41
BROWN Boveri (Tecnomasio Ita- liano) - Milano .....	4 <sup>a</sup> cop.	Irta - Milano .....	42	Salvi - Milano .....	—
Bruscantini - Milano .....	102	Isea - Milano .....	56	Sama - Torino .....	87
Cabur - Savona .....	48	Isola Safi - Milano .....	7	Same - Milano .....	—
Cannon Electric - Milano .....	13	Isothermic Swiss - Milano .....	74	Scac - Milano .....	67
Cariboni - Lecco .....	63	Italweber - Milano .....	—	Scarpa & Magnano - Savona .....	93
Cassinelli - Milano .....	—	Jupiter - Genova .....	—	Scotti, Brioschi & C. - Novara ..	34
Cea Perego - Milano .....	2 <sup>a</sup> cop.	Kerareistor - Milano .....	18	SEB Stab. Elettr. - Barlassina	37
Ccem - Milano .....	34	Kloekner-Moeller - Bonn .....	53	Sefram - Parigi .....	—
Cerisola - Milano .....	18	Köhler - Muth .....	—	Servettaz Basevi - Genova .....	—
CGE Comp. Gen. Elettricità - Mi- lano .....	—	Körner - Milano .....	—	Shell - Genova .....	57
CGS Istr. di Misura - Monza .....	77	La Forni-Tecnica - Milano .....	—	Siei - Milano .....	53
Chauvin Arnoux - Parigi .....	—	Landis & Gyr - Zug .....	112	Siemens Elettra - Milano .....	—
Ciba - Milano .....	59	Legnano Industrie Elettriche - Le- gnano .....	111	Soc. Ital. Telec. Siemens - Milano	110
Coe & Clerici - Milano .....	16	Leybold - Chima - Milano .....	—	Silverstar - Milano .....	55
Co.ge.co - Milano .....	—	Malisardi - Milano .....	44	Sime - Firenze .....	46
Comar - Milano .....	19	Magrini - Bergamo .....	88	Sipi - Milano .....	—
Comelec - Bruxelles .....	76	Mannino - Milano .....	—	S.I.P.I.E. - Milano .....	73
Cominel - Milano .....	76	Manuli - Brughiero .....	—	Spil - Milano .....	40
Compagnia Elettr. Marconi CEM Milano .....	46	Marelli E. - Milano .....	38	Sisram - Torino .....	44
Connei - Genova .....	—	Martindale - Londra .....	—	Stem - Trento .....	30
Coppo - Genova .....	107	Mascherpa - Milano .....	—	Stemag - Lauf Pegnitz .....	30
Corel - Milano .....	15	Mecanoser - Parigi .....	51	Stimamiglio - Vicenza .....	—
Croci & Farinelli - Milano .....	54	Mercantile Italo Britannica-Milano	94	Tagliaferri L. - Milano .....	—
Cubic-Europa - Roma .....	50	Meta - Milano .....	—	Tamini - Milano .....	38
Dear - Milano .....	52	Minnesota - Milano .....	—	Taragni - Milano .....	—
De Benedetti - Milano .....	112	Miva - Milano .....	—	Tecnimex - Milano .....	85
Ducati - Bologna .....	26	Montecatini - Milano .....	100-104	Terzago Tranciaturo - Milano .....	14
Due Stelle - Castellanza .....	36	Mottola - Milano .....	30-32-95-96	Tettex - Zurigo .....	28
EAI - Bruxelles .....	72	Muratori - Roma .....	82	Tritecnica - Milano .....	47
Edison - Melzo .....	—	Negri & C. - Milano .....	108-109	Trüb Taüber - Zurigo .....	—
Elcator - Aarau, Svizzera .....	20	Ocren - Napoli .....	—	Ugine - Carbone .....	—
Electrital - Milano .....	—	Oec - Como .....	6	Vanossi - Milano .....	33
Elefantini - Milano .....	8	Oerlikon - Zurigo .....	—	Veronesi - Bologna .....	—
Elesta - Bad Ragaz .....	—	Omega - Torino .....	38-51	Vetroessile - Milano .....	98
Elettrocondutture - Milano .....	49-90	OMI Ottica Mecc. Italiana - Roma	—	Vianello - Milano .....	17
Elettrotecnica Lombarda - Milano	—	O.M.R. - Bollate (Milano) .....	78	Volpato - Milano .....	—
Elettrotecnica Rini - Milano .....	—	OTE Off. Trasf. Elettr. - Bergamo.	—	Volta - Bolzano .....	—
Elettrotermoidustria - Milano ..	—			Westinghouse - Torino .....	91
English - Londra .....	20			Zellweger - Uster (Svizzera) .....	—
Engo - Milano .....	20			Zennaro - Marghera .....	—
Erba Carlo - Milano .....	45			Zettler - Milano .....	68
				Zucchini - Brescia .....	50

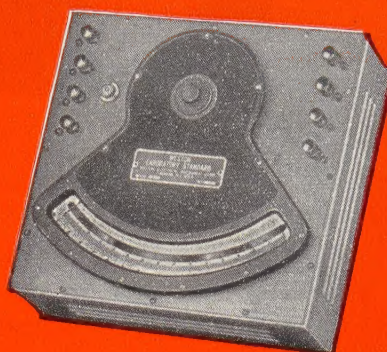
*La carta uso patinata e satinata della pubblicità e del testo è fornita dalle Cartiere A. Binda.*



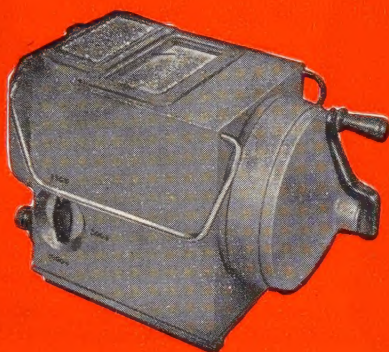
# STRUMENTI PER MISURE ELETTRICHE



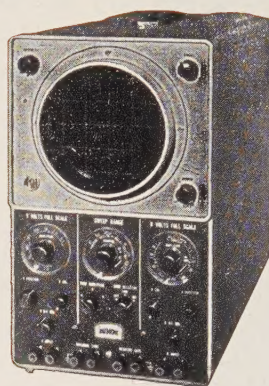
**GENERAL RADIO**  
Generatori di segnali campione



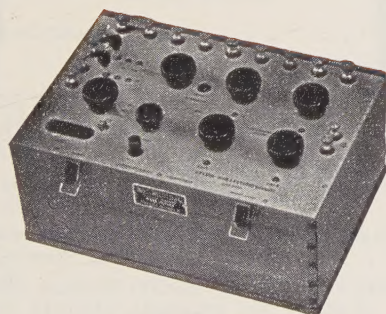
**WESTON**  
Wattmetri da laboratorio



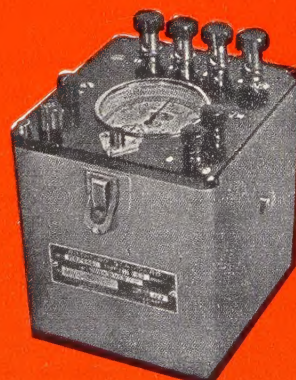
**MEGGER**  
Misuratori di isolamento e di terra



**DU MONT**  
Oscillografi a raggi catodici



**TINSLEY**  
Ponti per misure di resistenze



**SANGAMO**  
Contatori campione

(39)

## Ing. S. & Dr. GUIDO BELOTTI

GENOVA - VIA G. D'ANNUNZIO 1/7 - TEL. 52.309

ROMA - VIA LAZIO 6 - TELEFONO 46.00.53/4

NAPOLI - VIA CERVANTES 55/14 - TEL. 32.32.79

**MILANO**

PIAZZA TRENTO 8

TELEFONI { 54.20.51 (5 linee)  
54.33.51 (5 linee)

TELEGR.: INGBELOTTI - MILANO



# OEC

## OFFICINA ELETTEOTECNICA COMENSI

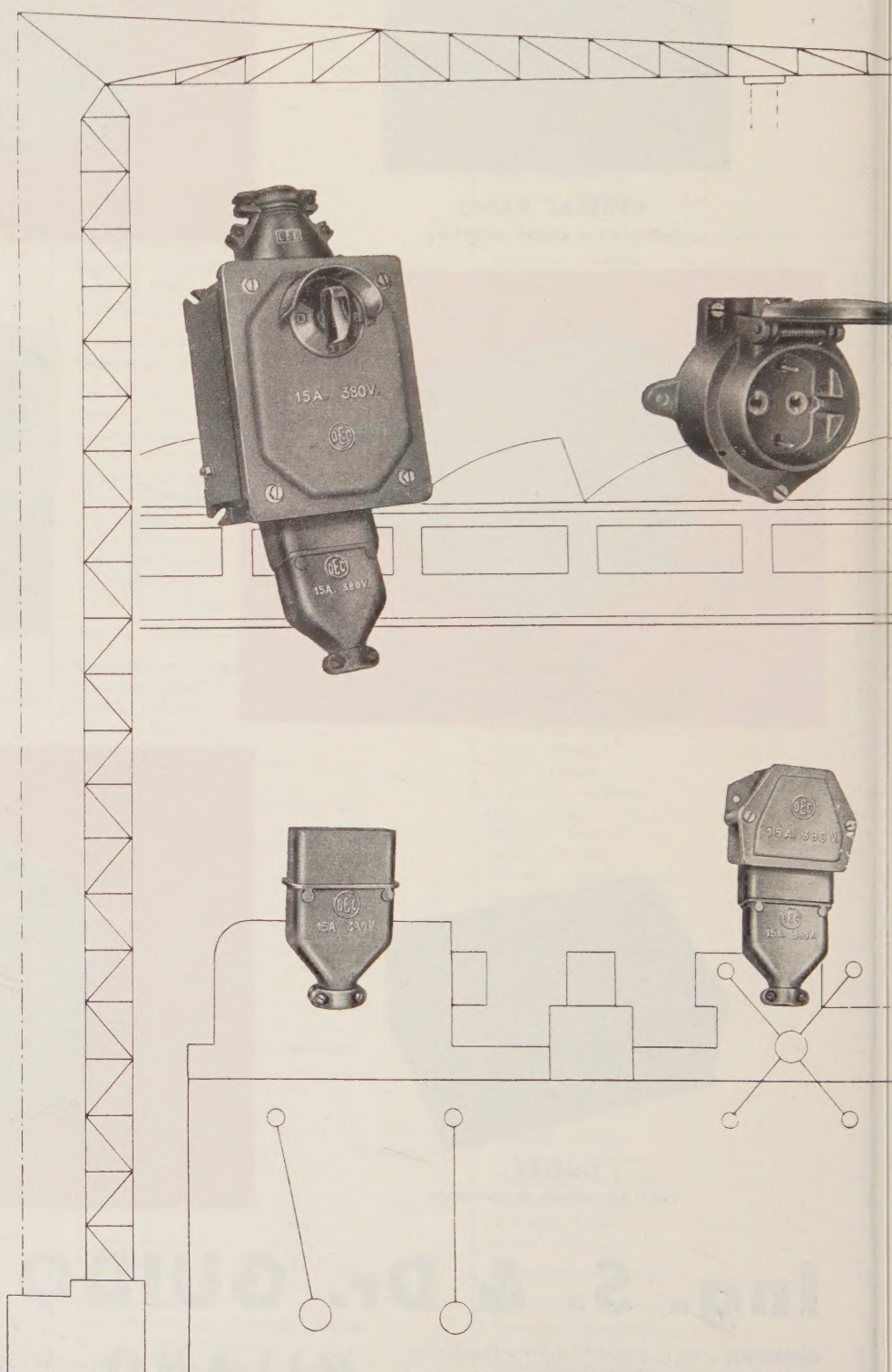
COMO - Monte Olimpino - Tél. 20.250 - 22.427 - Telegr. RELAT

Depositi:

MILANO - Via De Amicis, 61 - Telefono 848.019

R O M A - Via del Corso, 509 - Telefono 675.90

# PRODOTTI



MATERIALI PER IMPIANTI CORRISPONDENTI  
ALLE TABELLE *unel* ED ALLE NORME *en*  
ANTINFORTUNISTICHE



# L'ELETTROTECNICA

GIORNALE ED ATTI DELL'ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA  
SOTTO GLI AUSPICI DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE



*Direttore:* RENATO SAN NICOLÒ

*Redattori:* F. BAROZZI - R. SARTORI - G. SILVA

*Consiglieri di Redazione:*

A. ASTA - S. BASILE - E. BOTTANI - F. CARATI - A. CARRER - C. CASTELLANI - F. CORREGGIARI - C. COSTADONI  
V. DE MARTINI - N. FALETTI - L. MAGGI - M. MAINARDIS - G. MAIONE - L. MARENESI - F. NERI - M. PARIS  
G. QUILICO - R. RIGHI - F. SCILLIERI - M. SILVESTRI - F. TEDESCHI - D. TOLOMEO - S. B. TONIOLO - A. VALLINI

*Proprietaria ed Editrice:* ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA (AEI).

*Comitato per le pubblicazioni AEI:* IL PRESIDENTE GENERALE: A. M. Angelini - GLI EX PRESIDENTI GENERALI: G. Bauchiero  
G. Cenato, G. Someda - I DIRETTORI ED EX DIRETTORI DELLE RIVISTE: E. Gatti, P. Lombardi, R. San Nicolò -  
IL DIRETTORE EDITORIALE: C. Redaelli.

*Direzione, Redazione, Amministrazione:* UFFICIO CENTRALE AEI-CEI - VIA SAN PAOLO 10, MILANO - Conto Corrente Postale  
3/1189 - Telegrammi: ASSELITA - MILANO - Telefoni: 794794-798897.

## S O M M A R I O

PARTE PRIMA	Pag.	Rubriche varie:	Pag.
Note di Redazione . . . . .	746	Notizie e Informazioni . . . . .	796
<b>Articoli:</b>		Libri e Pubblicazioni . . . . .	809
Commemorazione del prof. Angelo Barbagelata (G. SOMEDA) . . . . .	747	Dalle Riviste . . . . .	811
I trasformatori nelle reti ad altissima tensione (A. GOLDSTEIN) . . . . .	751	<b>Notizie Sociali:</b>	
Contributo allo studio dell'avviamento delle macchine sincrone (F. CIAMPOLINI) . . . . .	764	Associazione Elettrotecnica Italiana: Premi AEI in palio per il 1962 - Minuta di verbale della seduta del Consiglio Generale . . . . .	815
Calcolo delle velocità critiche degli alberi rotanti mediante circuiti analogici (G. BASILE) . . . . .	777	Notizie delle Sezioni: Sezione Sarda e Veneta . . . . .	818
Motori primi termici nell'anno 1960 (M. MEDICI) . . . . .	782	Comitato Elettrotecnico Italiano . . . . .	819
Studi e progressi degli impianti di produzione di energia elettrica da fonti diverse da quelle tradizionali e dalla energia nucleare (F. DI LECCE) . . . . .	793	Necrologio: dr. ing. Carlo Semenza . . . . .	823
		Attività delle Sezioni . . . . .	824
		Precisazione . . . . .	824
		<b>PARTE SECONDA</b>	
		SUNTI E SOMMARI . . . . .	153 D

*Abbonamento per il 1961:* in Italia L. 6500, all'Estero L. 8500  
*Fascicoli separati:* cad. in Italia L. 650, all'Estero L. 800.

I Soci dell'AEI hanno diritto di ricevere in abbonamento gratuito la rivista «L'Elettrotecnica» o, in sua vece «Alta Frequenza»; possono ricevere entrambe le riviste con un versamento suppletivo di L. 3.000.  
I Soci hanno diritto, oltre a quanto precede, allo sconto del 20% su tutte le pubblicazioni editte dall'AEI ivi compresi eventuali abbonamenti supplementari.  
È vietato riprodurre articoli della presente rivista senza citarne la fonte. - Gli scritti dei singoli Autori non impegnano la Redazione e sia quelli degli Autori sia quelli della Redazione non impegnano l'AEI. - I manoscritti non si restituiscono. - Pubblicazione mensile. - Spedizione in abbonamento postale gruppo III\*.



Un altro grave lutto ha colpito la Redazione de «L'Elettrotecnica».

Il giorno 14 novembre è deceduto il dr. ing. prof.

## MARCO SEMENZA

che fin dai primissimi anni era entrato a far parte della famiglia del nostro giornale apportando sempre un prezioso contributo di attività, di competenza di collaborazione.

Di Lui sarà detto adeguatamente in altra sede. Qui segnaliamo il profondo rammarico della Redazione la quale si unisce al generale rimpianto per lo Scomparso.

## In Memoria del Prof. Barbagelata

Una dolorosa coincidenza vuole che in questo stesso numero appaia l'eco della cerimonia commemorativa del prof. Angelo Barbagelata che fu per tanti anni, oltrechè Segretario Generale anche Direttore del nostro giornale.

Il prof. G. Someda ne ha rievocato la mirabile figura di studioso e di tecnico; pubblichiamo oggi il suo discorso, insieme alle parole pronunciate in tale occasione dall'ing. L. Maggi quale Presidente della Sezione di Milano.

Nel rievocare la figura di Lui tanto cara a tutti i Soci e in particolare ai membri della Redazione, si rinnova il cordoglio e il rimpianto.

## Le elezioni per la nuova Presidenza dell'AEI

Secondo le prescrizioni dello Statuto, sono state distribuite ai Soci, a cura dell'Ufficio Centrale, le schede per la elezione delle cariche sociali per il triennio 1962-64.

Raccomandiamo vivamente a tutti i Soci di curare la tempestiva compilazione delle schede e la loro consegna alle Sezioni entro i termini stabiliti. Partecipare alle elezioni costituisce una tangibile dimostrazione di attaccamento alla nostra Associazione e tutti i Soci devono sentirsi impegnati a dare il proprio voto.

## Progressi nei trasformatori

La necessità, che si è andata imponendo, di eseguire trasporti di elevatissime potenze a distanze sempre più grandi, ha indotto ad elevare ulteriormente il livello della tensione di esercizio delle grandi linee passando dal classico 220 kV a valori dell'ordine di 400 kV ed oltre.

Ciò è stato reso possibile dai progressi compiuti in vari rami della tecnica e in particolare dalla maggiore conoscenza acquisita intorno ai fenomeni di sovratensioni e al comportamento dei materiali. Si è così pervenuti alla costruzione di trasformatori per potenze unitarie elevatissime e tensioni dell'ordine appunto di 400 kV.

I problemi relativi e le realizzazioni compiute sono illustrate oggi da A. GOLDSTEIN, con particolare competenza di costruttore.

## Sull'avviamento delle macchine sincrone

Sull'argomento il nostro giornale ha pubblicato un articolo di F. Barozzi (vedi «L'Elettrotecnica» 1954 pag. 466) in cui nello studio dell'avviamento in asincrono dei motori sincroni si introduceva l'ipotesi semplificatrice di sostituire alla gabbia smorzatrice una lamina equivalente su le espansioni polari.

L'argomento viene oggi ripreso da F. CIAMPOLINI evitando tale ipotesi semplificatrice e considerando la gabbia smorzatrice nella sua reale costituzione a sbarre.

La trattazione riesce naturalmente più complessa e la soluzione pratica richiede l'impiego di una macchina calcolatrice; e il risultato, come è illustrato anche da un esempio, si manifesta in una accentuazione dell'insellamento della curva coppia-velocità.

Segnaliamo anche ai lettori il riassunto della teoria della doppia reazione di Park che è esposto in calce all'articolo.

## Calcolo delle velocità critiche

L'impiego delle calcolatrici elettroniche continua a diffondersi rapidamente nella tecnica facilitando la soluzione di molti problemi e alleggerendo grandemente il lavoro dei calcolatori.

Un nuovo esempio viene oggi illustrato da G. BASILE a proposito del calcolo delle velocità critiche degli alberi delle macchine ruotanti, notoriamente sempre assai laborioso. Con l'uso di circuiti analogici si può raggiungere assai più speditamente il risultato e, come viene dimostrato nell'articolo che oggi pubblichiamo, con approssimazione ben soddisfacente.

## Progressi dei motori termici

Anche nel campo degli impianti termoelettrici la tecnica continua a progredire e di anno in anno si registrano nuove affermazioni e ulteriori perfezionamenti.

Continuando la serie degli articoli di aggiornamento, M. MEDICI riferisce oggi su quanto si è fatto di notevole in questo campo nel decorso anno 1960.

## Fonti varie di energia

Nella ricerca di maggiori disponibilità di energia, l'attenzione dei tecnici moderni si rivolge anche a fonti minori di quelle classiche e rimaste finora quasi trascurate.

L'apporto che queste fonti possono portare, per quanto limitato nei confronti dei consumi totali, è spesso molto interessante per particolari caratteristiche tecniche od economiche.

Di anno in anno nuovi progressi vengono compiuti in questo campo e F. DI LECCE informa oggi i lettori su quanto è stato fatto in proposito nello scorso anno.

LA REDAZIONE



# COMMEMORAZIONE

## DEL PROF. ANGELO BARBAGELATA (\*)

GIOVANNI SOMEDA

(Milano, 27 ottobre 1961)

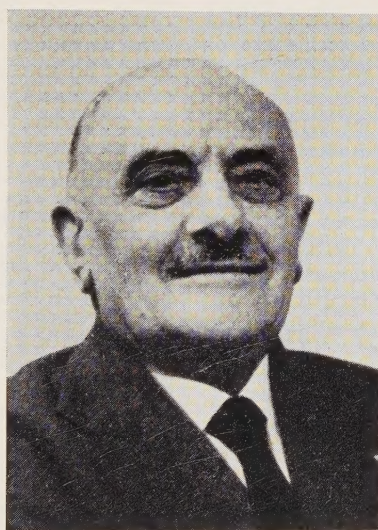
Quando il 23 maggio dello scorso anno, ci raggiunse la luttuosa notizia della scomparsa di Angelo Barbagelata, tutti abbiamo fatto, consciamente o inconsciamente, una rapida corsa col pensiero attraverso gli anni, rievocando i più salienti episodi dei nostri rapporti con Lui. Tutti, sono certo, abbiamo trovato soltanto luminosi esempi e grati ricordi: così i Suoi innumerevoli allievi riconoscenti, come i Suoi affezionati colleghi; così i Suoi devoti collaboratori nella Scuola e nell'attività professionale, come i moltissimi amici; ognuno per motivi diversi, ma tutti derivanti dalle medesime fondamentali qualità di Angelo Barbagelata: saggezza, ingegno, cultura, bontà, onestà, modestia.

Sono qualità che spesso si additano, nell'elogio di uno scomparso, ma voi tutti sapete che, pur costretto dalla

merne la direzione nel 1931, col collocamento a riposo del prof. Zunini.

Libero docente in Misure Elettriche nel 1910, professore incaricato di Macchine Elettriche nel 1914, e poi di Tecnologie Elettriche; professore straordinario di Costruzioni Elettromeccaniche nel 1923 e poi ancora ordinario di Tecnologie Elettriche e successivamente di Impianti Elettrici, percorse nel Politecnico milanese tutta la carriera di docente universitario, dedicandosi particolarmente dal 1931 al 1948 all'insegnamento delle Misure Elettriche. In riconoscimento della Sua opera venne, nel 1950, nominato professore emerito.

Questa è, in sintesi, la Sua brillante carriera nell'insegnamento superiore, ma non soltanto coloro che sono passati attraverso le severe aule del Politecnico milanese



povertà della mia parola ad usare frasi comuni, non ripeto luoghi comuni.

È stato detto di Lui « maestro esemplare di vita prima ancora che di scienza »; questa accentuazione delle Sue virtù umane costituisce ben degna corona al Suo valore di scienziato e di tecnico, quale ci appare dalle opere.

Nato a Novi Ligure nel 1875, conseguì la laurea in Ingegneria Elettrotecnica nel Politecnico di Milano nel 1898. Dopo un breve periodo di attività presso le Officine Elettrotecniche Nazionali ing. Monti di Pavia, divenne nel 1899 assistente volontario del prof. Zunini al Laboratorio della Istituzione « Carlo Erba », nella quale svolse la parte più cospicua della Sua attività di docente e di sperimentatore ed al cui sviluppo tanto contribuì, nei successivi passi della carriera che lo portarono ad assu-

serbano incancellabile ricordo di Angelo Barbagelata « professore », perchè, soprattutto negli anni giovanili, Egli svolse appassionata ed apprezzatissima attività di insegnante anche nella Scuola Laboratorio per operai, intitolata a Cesare Saldini, della quale fu pure, per un decennio, direttore, e nell'Istituto Industriale Feltrinelli.

Della Sua opera nella Scuola, che da sola basterebbe a rendere onorato un nome, abbiamo pregevole documentazione nelle pubblicazioni didattiche: « Le applicazioni industriali dell'energia elettrica » (due edizioni 1912 e 1918); « Macchine elettriche (parte I e II) » (1922 e 1924); « Metodi fondamentali per le misure elettriche industriali » (1930); « Misure elettriche » (due volumi, in collaborazione con Regoliosi, 1950-51). Questi testi, particolarmente quelli di carattere universitario, ebbero larghissima diffusione in tutte le nostre scuole di ingegneria e sono tuttora mantenuti aggiornati per felice iniziativa di Suoi distinti allievi.

Angelo Barbagelata non fu però Maestro soltanto en-

(\*) Tenuta nella sala del Cenacolo del Museo della Scienza e della Tecnica, in Milano.



tro la Scuola; le Sue innate qualità di espositore, chiaro e felice, la passione posta costantemente nel trasfondere il Suo pensiero e le Sue conoscenze, senza riserve e senza vanto, anche quando esse erano il frutto di personali studi e vedute, hanno fatto sì che la Sua parola fosse ovunque ascoltata con quella attenzione e quella deferenza che si prestano soltanto a coloro dai quali si sa di apprendere sempre qualche cosa di nuovo e di importante.

A spiegare il Suo successo non bastano le qualità che ho citato; Egli fu un vero professore di materie tecniche in quanto seppe coltivare parallelamente e con eguale capacità ed interesse l'applicazione tecnica e lo studio scientifico.

Angelo Barbagelata alimentava infatti la Sua precisa e suadente parola di docente da tutte due queste radici; esperienza professionale e ricerca teorica, in costante equilibrio.

Collaboratore di Giacinto Motta nell'attuazione e nel collaudo di impianti i cui nomi (Gromo, Turbigo, ecc.) ci ricordano le prime cospicue realizzazioni italiane nel settore idroelettrico, Egli creò poi un Suo studio di consulenza che ebbe parte importantissima nella progettazione e soprattutto nel collaudo dei macchinari di un grandissimo numero di altri impianti; non li enumero perchè certamente sarebbe più semplice citare le centrali elettriche dell'alta Italia poste in esercizio senza il Suo intervento; ma voglio ricordare, perchè particolarmente impegnative, le consulenze della Soc. Breda, tra il 1916 e il 1925, per la costruzione degli impianti della Valle d'Aosta, delle Acciaierie e Ferriere Lombarde, per gli impianti della Valtellina, della Ditta Redaelli per i forni e laminatoi elettrici.

Trovatosi ad operare nel periodo delle prime grandi affermazioni della corrente alternata, Egli si rese subito conto della necessità di disporre di apparecchiature di controllo e di misura che non fossero, come egli stesso diceva, « dei metri di gomma elastica ».

Perciò ben si comprende come Suo primo impegno sia stato il creare, nel laboratorio del Politecnico, adeguate attrezzature di riferimento.

I mezzi erano inizialmente scarsi e nel settore delle misure a corrente alternata il campo era ancora, non dico inesplorato, ma suscettibile, per un uomo della capacità di Barbagelata, di fecondo lavoro di sviluppo e di perfezionamento, sia sul piano della impostazione generale dei metodi, sia nella realizzazione di particolari dispositivi.

Nessuna delle Sue memorie di carattere tecnico (sono circa ottanta) pubblicate nel corso di un cinquantennio, è nata per caso; ognuna è stata invece determinata da un problema concreto, che Egli si era trovato a dover risolvere; la soluzione data è sempre la migliore in rapporto alle conoscenze ed ai mezzi disponibili in quel momento. Mai Egli ha scritto per « farsi conoscere »; sempre e soltanto per « far conoscere » ciò che poteva essere utile ad altri.

È questo un carattere inconfondibile e particolarmente nobile della vasta mole dei Suoi scritti, che non posso ricordare singolarmente, ma dei quali cercherò di esprimere alcuni aspetti salienti.

Che Egli fosse restio a crearsi una pubblicità lo deduciamo già dalla data della Sua prima pubblicazione (1906) su « Un dinamometro per la prova dei motori e dei generatori elettrici », posteriore di quattro anni alla realizzazione, che Egli si convinse a rendere nota solo perchè allora analogo dispositivo veniva descritto, come nuovo, su un giornale inglese.

Poco dopo, nel 1908, Egli illustra il metodo delle quattro letture, fondamentale nelle misurazioni sui sistemi trifasi simmetrici squilibrati, la cui notorietà mi dispensa dal soffermarmi.

Al Congresso Internazionale delle Applicazioni Elettriche del 1911 in Torino, Egli presenta, con Luigi Emanuelli, una elaborata ed ampia nota su « I metodi di opposizione nelle correnti alternate e la loro applicazione in-

dustriale »; è in questo settore della metrologia che particolarmente si sviluppa e si afferma la Sua opera anche in anni successivi, con la messa a punto di pregevoli apparecchiature fondate sull'uso dell'elettrodinamometro, nei cosiddetti metodi di proiezione.

Nel 1932 la Sua competenza in materia è così universalmente riconosciuta che gli viene affidato il compito di presentare il rapporto generale « Mesures de laboratoire en courant alternatif » al Congresso Internazionale di Parigi.

Le difficoltà di taratura diretta dei riduttori di tensione e di corrente, difficoltà sempre più gravi con l'aumento delle tensioni e delle correnti, lo portano ad applicarsi allo studio di metodi indiretti di prova, che recano l'impronta della Sua profonda conoscenza di tutti gli aspetti del problema. Ben si comprende pertanto il compiacimento col quale, in uno degli ultimi scritti apparso ne « L'Elettrotecnica » del 1957, Egli ci presenta la relazione finale di un ciclo internazionale di taratura dei riduttori per altissime tensioni, quasi a volerci dire che la Sua lunga fatica, destinata a dare ai tecnici anche in questo campo un metro sicuro, era felicemente conclusa.

Di tale feconda e geniale opera nel campo delle misure, restano molte altre cospicue testimonianze; fra esse, per citarne una sola, l'ardito metodo chimico elettrico per la misura delle portate.

Il quadro delle Sue pubblicazioni tecniche non si esaurisce tuttavia in questo settore prediletto d'indagini, ma investe altri importanti rami dell'elettrotecnica, come le macchine, gli impianti, le protezioni, e via dicendo.

Molti dei presenti non sanno, perchè troppo giovani, quanto sia stata viva negli anni dal 1914 al 1924 la battaglia per la scelta del sistema di elettrificazione delle ferrovie italiane. Barbagelata vi prese autorevolmente attiva parte; da una delle Sue chiarissime note in argomento ho tratto alcune frasi che mi sembra debbano essere ricordate, non per il riferimento specifico, ma in quanto gettano viva luce su di un importante aspetto del Suo carattere.

Egli scrisse:

« Fui contrario alla trazione elettrica ferroviaria quando nessuno dei sistemi in lotta pareva dare affidamenti sufficienti di soppiantare la locomotiva; fui " trifasista " convinto al tempo della prima elettrificazione dei Giovi, quando ancora la corrente continua non aveva superato le colonne d'Ercole dei suoi 750 volt; sono " continuista " oggi dopo i progressi da essa compiuti in questi ultimi anni; sarò un altro " ista " domani se qualche nuovo sistema si affermerà tecnicamente ed economicamente più conveniente. E ritengo non solo logico e naturale, ma doveroso mantenersi così completamente, così liberamente eclettici. Nella tecnica non è il cambiar di opinione che fa paura; bensì l'affermare che una data soluzione di un problema non solo è " oggi " ma sarà anche in futuro la migliore ».

Quale più saggio insegnamento?

Forte di una lunga e matura esperienza didattica, tecnica e scientifica, Barbagelata non poteva disinteressarsi dei tanto dibattuti problemi dell'organizzazione degli studi di ingegneria. Era fermamente convinto che la Scuola dovesse adeguarsi alle capacità dell'allievo medio, in quanto i migliori trovano sempre il modo di affermarsi; il Suo pensiero si manifesta in parecchi scritti nei quali la critica ai vigenti ordinamenti ed agli uomini è sempre serena e accompagnata da proposte costruttive; ma in questo campo non arrese neppure a Lui il successo e dell'argomento si continuerà a parlare a lungo, ripetendo come cose nuove quanto Egli ed altri autorevoli nostri Maestri scrissero già cinquant'anni or sono.

Ad altri aspetti della molteplice attività di Angelo Barbagelata dobbiamo ancora rivolgere il nostro sguardo. Affacciandosi alla vita professionale negli stessi anni in cui veniva fondata l'Associazione Elettrotecnica Italiana, in



essa rafforzò le amicizie e allargò il giro delle conoscenze nel mondo elettrotecnico, in cui allora risaltavano le figure di Guido Grassi, Moisè Ascoli, Emanuele Jona, Luigi Lombardi, Ferdinando Lori, Guido Semenza, per citare solo coloro che si sono via via succeduti alla presidenza dell'Associazione fino alla prima guerra mondiale. Così quando nel 1914 sotto la presidenza di Lori fu creato il giornale « L'Elettrotecnica », Barbagelata ne divenne Redattore-capo, avendo come colleghi di redazione Bordoni e Vallauri. La scelta degli uomini non poteva essere migliore; è un'affermazione che oggi, dopo poco meno di mezzo secolo di vita del giornale, appare pienamente giustificata; « L'Elettrotecnica » fu, nelle mani di Barbagelata, dei colleghi e dei collaboratori di cui seppe circondarsi, un'altra arma potente e preziosa d'insegnamento.

Presidente della Sezione di Milano per il triennio 1916-1918, divenne nel 1931 Segretario Generale, carica che conservò fino alla scomparsa, perchè tutti i consoci sempre unanimemente si opposero al Suo desiderio di un ben giustificato riposo.

Egli, in realtà, fu per l'AEI molto di più: nella riunione annuale di Venezia del 1959 — prima Sua assenza dal tradizionale convegno — il Presidente Angelini inviandogli un cordiale e augurale saluto a nome del Consiglio lo chiamò « nume tutelare del nostro sodalizio »; tale infatti era e tale Egli è e sarà sempre per noi tutti.

Quando, in via S. Paolo 10, entro in quella Sua ampia stanza di lavoro, alle cui pareti sono i ritratti dei Suoi maestri e dei più cari amici scomparsi, essa mi appare ancora illuminata da quel chiaro sorriso, col quale manifestava il piacere di un incontro, che era per me ogni volta fonte di vera gioia; erano i problemi di vita e di attività del CEI che lo assillavano maggiormente negli ultimi anni e, intorno a questi, si discuteva.

Fin dal 1907, l'AEI aveva dato vita al Comitato Elettrotecnico Italiano, come organo di studio e di redazione delle norme; Barbagelata assumeva fin dall'inizio anche in questo settore importanti compiti, come membro e poi Presidente di Sottocomitati e quindi come Segretario Generale durante la lunga presidenza di Luigi Lombardi. Nominato, alla fine della seconda guerra mondiale, Commissario, ne curò la riorganizzazione su più vaste basi e nel 1946 ne assunse la presidenza, che conservò fino al 1958.

L'opera da Lui svolta in questi dodici anni meriterebbe una diffusa illustrazione, passo per passo; qui ricordo soltanto come Egli volle e seppe dare a questo importante organo, a servizio della tecnica, una base di larga collaborazione fra gli Enti culturali e tecnici interessati, così da assicurare ai lavori e quindi alle norme, che ne sono l'espressione finale e concreta, un carattere di assoluta serietà e di piena indipendenza da ogni interesse particolare o di categoria.

È durante la Sua presidenza che prendono vita e si sviluppano l'UNEL e l'Istituto Italiano del Marchio di Qualità; Enti autonomi ma coordinati all'attività del CEI, del quale valorizzano oggi altamente l'opera. Nè meno vigile ed attenta fu sempre la Sua cura nel mantenere l'attività del Comitato costantemente allineata a quella della Commissione Elettrotecnica Internazionale, nel promuovere la partecipazione italiana alle riunioni internazionali, nel far confluire nel CEI i rapporti con altri Enti internazionali e particolarmente con la CIGRE e con la CEE. Ricordo ciò perchè costituisce ancora una prova di lungimiranza e di quello spirito di conciliazione, che sempre spingeva Angelo Barbagelata a trovare l'*optimum* delle soluzioni in una giusta fermezza non disgiunta dal riconoscimento delle ragioni altrui.

La rinomanza acquisita da Lui come studioso e come tecnico fece sì che la Sua partecipazione fosse ricercata in elevati consessi, come il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, il Consiglio Nazionale delle Ricerche, e nei Consigli di Amministrazione di importanti Enti quali l'Azienda Elettrica Municipale di Milano, l'IEENG, o di Società come la STIPEL, la STET, l'Italcable, la CGE, la

SECI. Fu particolarmente alla CGS, nello specifico settore della Sua più alta competenza tecnica, che, come Presidente del Consiglio di Amministrazione, Egli diede negli ultimi anni il maggior contributo, tanto che la Società ben volle ricordare il Suo nome, intitolando a Lui la Sala prove per alta tensione. Non tutti i presenti hanno allora ascoltato la commossa rievocazione di Ercole Bottani e rileggo pertanto le parole con cui Egli iniziò il suo dire:

« Sono sicuro, so per certo che Barbagelata così schivo e nemico di ogni inutile clamore intorno al proprio nome, fino al punto da tener allo scuro dei riconoscimenti e degli onori che gli si rendevano persino me, l'allievo che gli è stato più vicino, suo aiuto e nella Scuola e nella professione, sarebbe invece felice e fiero di vedere il Suo nome in questa sala dedicata alla sperimentazione e alla misura, perchè e dell'una e dell'altra era un appassionato ed un felice cultore ».

A tanto lunga e preziosa attività non sono mancati riconoscimenti ufficiali.

Ebbe per primo, nel 1922, il Premio Jona e nel 1930 il Premio Colombo; fu membro dell'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere; Vicepresidente d'onore della CIGRE.

Ogni riconoscimento era da Lui sempre accolto con stupore, tanto era alieno dal solleccitarlo. Basta leggere la lettera con la quale rispose, il 19 gennaio 1955, a M. Cahen, Presidente della Société Française des Electriciens, che gli comunicava la nomina a membro d'onore del sodalizio (qualifica accordata dal 1883, cioè in 72 anni, soltanto a 34 persone): « Votre aimable lettre du 13 janvier m'a apporté une véritable et agréable surprise... »; e, nel 1959, in occasione della nomina a membro dell'Accademia dei Quaranta, Egli telegrafava al Presidente, Francesco Severi: « Apprendo con viva sorpresa nomina Accademia Quaranta. Ignoro cui debbo grande immeritato onore... ».

Queste Sue frasi semplici e spontanee ci riportano dinanzi allo « scienziato che (sono parole di Danusso) in ogni momento si nascondeva in umiltà, che badava soltanto ai veri valori, che metteva le cose a posto, con retto giudizio, riguardoso per tutti... ».

Non so se, dal profilo che ho cercato di tracciare, emerga sufficientemente fra le alte doti di Angelo Barbagelata quella di un raro equilibrio, per cui tanto spesso fu chiamato ad esprimere giudizi arbitrali, nella cui formulazione era di una scrupolosità esemplare.

Ho riaperto in questi giorni l'agenda da Lui lasciata nell'ufficio di via S. Paolo 10, che l'amico Rigatti custodisce. Ultima annotazione: 18 maggio 1960 ore 15, « Riunione perizia ».

Egli me ne aveva parlato alcuni giorni avanti mostrandosi assai preoccupato della responsabilità che si era ancora una volta assunta; il male lo colse poche ore prima del fissato convegno e certamente mentre il Suo pensiero era rivolto a questa ultima fatica e forse da essa eccessivamente turbato.

Vien fatto di chiederci come un uomo possa in una vita, sia pur lunga e sorretta da instancabile volontà, portare tante opere a felice compimento; dico a compimento perchè nulla amava lasciare in sospeso.

Credo si possa trovare la spiegazione in una postilla da Lui scritta in margine di un libro nel quale si cita questa frase di Epitteto: « La vita di ciascuno è una milizia e, per giunta, lunga e svariata. Tu devi osservare il tuo dovere di soldato e compiere ogni cosa al cenno del comandante; se possibile indovinando ciò che egli vuole ».

L'annotazione di Angelo Barbagelata dice: « vedere ciò che ho scritto (senza avere mai letto Epitteto!) a conclusione della mia prima comunicazione al Rotary (1932) »; ed ecco il brano: « l'uomo, il tecnico... deve essere come il soldato combattente, che deve compiere in ogni caso il suo dovere nel modesto settore assegnatogli dalla sorte, senza preoccuparsi di conoscere le direttive di chi guida tutta l'azione!... ».



Egli ama così qualificarsi come attento e laborioso gregario; noi Lo vediamo sì in questa luce, ma su quel piano elevatissimo di valori che a Lui compete, non solo per le Sue opere di studioso e di tecnico ma altresì per la nobiltà e profondità dei Suoi affetti.

È difficile, anche per un amico, parlare di essi ad un vasto uditorio. Consentitemi che, per riguardoso riserbo, io mi arresti sulla soglia della Sua casa.

*All'inizio della cerimonia commemorativa l'ing. LEONARDO MAGGI, Presidente della Sezione di Milano ha pronunciato le seguenti parole:*

Signora Barbagelata, Signore, Consoci ed Amici,

Per la seconda volta nel triennio di questa presidenza vi convoco in questa solenne sala per tributare con tristezza il nostro omaggio alla memoria di un Presidente della nostra Sezione.

La prima volta abbiamo ricordato il compianto ing. Luigi Emanueli, oggi commemoriamo il prof. Angelo Barbagelata.

Due nomi, due personalità che sono vanto dell'elettrotecnica italiana e che noi eravamo fieri di annoverare fra i nostri Soci e fra i nostri ex Presidenti.

Il prof. Giovanni Smeda, Presidente del Comitato Elettrotecnico Italiano, vi parlerà con maggiore competenza e autorità di quanto lo possa fare io, dei grandi meriti dello Scomparso nei molteplici campi della sua attività.

Prima di dargli la parola io desidero ricordare il grande contributo da Lui dato alla nostra Sezione di Milano, alla quale era particolarmente affezionato.

Egli ne fu segretario nel triennio 1908-1910 e successivamente Presidente nel triennio 1916-1918.

Terminata la sua presidenza ufficiale però il prof. Barbagelata è rimasto sempre fino alla sua scomparsa il nostro Presidente spirituale perchè Egli ha consigliato e guidato tutti i successivi Presidenti che non si sarebbero

Degli affetti familiari, che sempre hanno occupato la sfera più alta del Suo cuore, generoso con tutti, ci parlano largamente la mirabile unione con la diletta Signora Lina, l'immenso affetto per la Sua Lella, per il genero, per i nipoti, che Egli ebbe il privilegio di veder crescere alla luce delle Sue virtù.

Sappiano che non saranno mai soli nel tributo di affetto alla venerata figura del grande caro Maestro.

mai sentiti di prendere una decisione di qualche importanza senza avere il suo consenso preventivo.

Molti di voi ricorderanno con quale assiduità Egli partecipava alle nostre riunioni del venerdì di Via San Paolo.

Se i suoi interventi nel corso delle discussioni non erano frequenti erano però sempre di eccezionale interesse ed autorità.

Però, fuori della sala delle riunioni, nel salottino attiguo dove si riunivano i consiglieri e gli amici della Sezione, Egli si preoccupava fattivamente di rendere sempre più proficuo e vivo il ciclo delle nostre conferenze degli anni culturali per intensificare lo sviluppo della nostra Sezione di Milano.

Si deve a questa sua presidenza spirituale, ma anche fattiva, se oggi questa Sezione ha superato i tremila Soci e rappresenta circa un terzo di tutta l'Associazione Elettrotecnica Italiana.

Questo poderoso impulso, del quale gli siamo debitori, ci permette di avere una nuova sede, che inaugureremo fra 15 giorni sentendo profondamente la mancanza del nostro animatore.

Comincerà così un nuovo periodo della nostra vita sullo stesso terreno nel quale sorgeva il vecchio Politecnico di Milano che molti di noi ricordano con particolare nostalgia perchè allora i suoi professori, fra i quali anche Angelo Barbagelata, erano per noi anche dei veri padri così che il Politecnico era affettuosamente chiamato l'asilo Brioschi, asilo paterno.

E noi ricordiamo il prof. Barbagelata come un padre.

L'ing. Maggi ha poi dato notizia delle principali fra le moltissime adesioni pervenute, fra le quali ricordiamo le seguenti: i Vice Presidente dell'AEI prof. Mainardis e ing. Foddis; il prof. Polvani, Presidente del CNR; l'ing. Tolomeo, Vice Presidente del CEI; prof. G. Bozza, Rettore del Politecnico di Milano; i proff. Astuni, Basile, Correggiari, Faletti, Matteini, Medici, Neri; l'ing. Cuttica, Presidente del Comitato Termotecnico Italiano; l'ing. De Biasi, Consigliere Delegato della Soc. Edison e Presidente

dell'ANIDEL; l'ing. Gabrielli della Fiat; gli ingegneri Danieli, Lagomaggiore, Paleari, Pautrie, ecc.

Dall'estero erano pure giunte adesioni fra le quali dell'ing. L. Ruppert, Segretario Generale dell'IEC; Tribot Laspière Vice Presidente della CIGRE, la quale era anche rappresentata dal Presidente ing. G. Silva intervenuto personalmente; l'ing. Ailleret, Presidente del Comité Electrotechnique Français; ecc.



# I TRASFORMATORI NELLE RETI AD ALTISSIMA TENSIONE

A. GOLDSTEIN (\*)

*Per le reti di trasmissione a tensioni superiori a 220 kV si esamina la scelta delle tensioni di trasmissione e del grado di sicurezza.*

*Vengono poi descritti trasformatori a tensioni di 400 kV e più d'esercizio nei loro elementi costruttivi.*

## 1. - SCELTA DELLA TENSIONE DI TRASMISSIONE.

Prima di entrare nel nocciolo dell'argomento e trattare dei trasformatori propriamente detti, mi sembra opportuno passare in rivista le ragioni per le quali si adottano le altissime tensioni, quelle cioè superiori a 220 kV. La potenza di trasmissione delle linee elettriche aumenta con la tensione; a 220 kV la potenza massima trasmissibile è dell'ordine di 200 MW per terna, a 370 kV di 600 MW ed a 500 kV si raggiungono i 1 000 MW. Queste potenze sono un po' più elevate delle potenze caratteristiche, cioè di quelle per le quali gli sfasamenti fra tensione e corrente sono uguali alle due estremità della linea. L'aumento della potenza è accompagnato da una diminuzione del costo per MW e per chilometro di linea, ciò che è illustrato nella tabella 1 [1]. Questa tabella mostra chiaramente l'interesse economico che presenta la trasmissione di una potenza data ad una tensione tale che essa sia possibile con una sola linea.

TABELLA I. - Costo di primo impianto di linee doppie a diverse tensioni.

Tensione kV	Numero di conduttori per fascio	Potenza caratteristica MW	Costo per MW e per km %
220	1	300	100
380	2	1000	64
500	3	1800	45
650	4	3100	32

Esaminiamo ora l'equipaggiamento delle cabine aiutandoci con un esempio da 1 000 MW. Dal lato linea noi confrontiamo tre linee doppie a 220 kV e una linea doppia a 380 kV. Le due partenze dalla cabina a 380 kV non costano che il 70 % delle sei partenze necessarie a 220 kV. Troviamo così un rapporto di prezzo simile a quello delle linee. Per ciò che concerne i trasformatori, si trova che il loro numero non dipende dalla tensione scelta. Il prezzo dei trasformatori come pure quello dell'installazione della cabina per il loro allacciamento aumenta pressapoco proporzionalmente alla tensione. Basandoci su queste considerazioni si può trovare per ogni potenza e distanza una tensione di trasmissione ottima che varia nello stesso senso dei due fattori che l'influenzano. Talora anche altre considerazioni possono influenzare la scelta della tensione. Per esempio per linee elet-

triche nelle Alpi può essere difficile disporre dello spazio necessario; si è allora costretti a trasportare tutta l'energia idroelettrica prodotta in una regione con una sola linea fino ai centri di consumo. Per ragioni di questo genere si costruisce attualmente in Svizzera una linea a 380 kV per una distanza di soli 200 km fra i Grigioni e la regione di Zurigo.

## 2. - SCELTA DELL'ISOLAMENTO.

Scelta la tensione di trasmissione, si pone il problema dei livelli di isolamento e di tenuta dei trasformatori. L'importanza di questo problema consiste nel fatto che il prezzo del trasformatore dipende da questo livello e non dalla tensione di trasmissione.

Il trasformatore deve resistere per tutta la sua vita alla tensione di esercizio applicata permanentemente, come pure alle sovratensioni che si verificano transitoriamente. Queste sovratensioni sono di tre specie: quelle alla frequenza della rete, quelle dovute all'apertura degli interruttori e quelle di origine atmosferica.

Poichè le reti ad altissima tensione hanno i neutri dei trasformatori collegati rigidamente a terra, le sovratensioni a frequenza industriale sono limitate e non sorpassano che assai raramente il 150 % della tensione applicata fra fase e terra, cioè il 90 % della tensione concatenata.

Le sovratensioni di apertura si compongono da una parte di oscillazioni a media frequenza fra 200 e 15 000 Hz, dall'altra parte di oscillazioni sovrapposte ad alta frequenza fra 50 e 500 kHz [2]. Esse hanno origine nell'apertura di trasformatori a vuoto. Indicando con  $k$  il rapporto fra il valore massimo della sovratensione ed il valore massimo della tensione di servizio  $U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$  fra un morsetto del trasformatore e la terra, è dimostrato che per queste sovratensioni nella maggior parte dei casi  $k$  non supera il valore 2,5. Tuttavia vi sono dei casi eccezionali nei quali per questo genere di sovratensioni  $k$  può raggiungere valori che arrivano anche a 4,5.

È stato dimostrato con prove in diversi laboratori che la tenuta dell'isolamento dei trasformatori in relazione alle sovratensioni di apertura è il 140 % della tensione di prova a bassa frequenza oppure l'85 % della prova ad impulso  $U_c$  con onda 1/50  $\mu s$  [3]. Con un margine di sicurezza del 15 % il livello di protezione contro le sovratensioni di apertura  $U_{ps}$  diventa il 72 % del livello di tenuta ad impulso  $U_c$ . Come vedremo più tardi, un livello di tenuta ad impulso  $U_c = 3,1 \times U_m = 3,8 U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$  sembra assai realizzabile. Fra il livello di protezione  $U_{ps}$  ed il valore massimo della tensione di servizio fase-terra, troviamo allora un coefficiente ammissibile  $k_{ps} = 3,8 \times 0,72 = 2,7$ .

Bisogna quindi limitare le sovratensioni di apertura dei trasformatori a vuoto a questo valore e ciò può essere ottenuto con scaricatori. L'energia magnetica accumulata nel nucleo del trasformatore non è che una piccola frazione della capacità termica delle resistenze di uno scaricatore moderno e pertanto non vi è alcuna difficoltà ad utilizzarlo a questo scopo.

Le sovratensioni dovute all'apertura di linee funzio-

(\*) Dr. A. GOLDSTEIN, della Soc. Brown Boveri & C. ie, Baden.



nanti a vuoto, di cavi o di condensatori, dipendono fortemente dal numero dei riadescamenti degli interruttori utilizzati. La prima interruzione della corrente di carica di una linea ha luogo al passaggio della corrente per lo zero, cioè al valore massimo della tensione di rete. Un semiperiodo più tardi il segno della tensione di rete, lato alimentazione dell'interruttore, è invertito, mentre la linea ha mantenuto il suo potenziale. Attraverso i contatti dell'interruttore si stabilisce il doppio della tensione, il che può determinare un riadescamento, se la rigidità dielettrica non è frattanto sufficientemente aumentata. Questo gioco può ripetersi durante diverse alternanze e provocare delle sovratensioni per le quali  $k$  può essere dell'ordine di 6 ed anche più. La limitazione di questo genere di sovratensioni a mezzo di scaricatori, non è più possibile nel caso si tratti di lunghe linee o di cavi, poiché i carichi da smaltire sorpassano spesso la capacità termica degli scaricatori.

Secondo le raccomandazioni n. 99 del CEI gli scaricatori devono resistere ad un'onda di corrente di lunga durata di 150 A per 200  $\mu$ s, quindi allo smaltimento di una carica di 0,3 Coulomb. La tensione di adescamento di uno scaricatore di 220 kV è dell'ordine di 600 kV. Una linea di 0,01  $\mu$ F/km e di una lunghezza di 50 km, caricata a 600 kV, porta già la carica in questione di 0,3 Coulomb e rappresenta quindi il limite di scarica dello scaricatore.

Concludiamo da ciò che precede, che bisogna utilizzare interruttori che non riadescano in caso di apertura di linee a vuoto. Soddisfatta questa condizione, le sovratensioni di apertura non sorpassano mai un valore corrispondente a  $k = 2,5$  e possono per conseguenza essere facilmente sopportate dai trasformatori.

Esaminiamo ora la questione importante della protezione contro le sovratensioni di origine atmosferica. In maniera classica essa è affidata a scaricatori installati il più vicino possibile al trasformatore da proteggere ed inseriti fra i suoi morsetti e la terra. Un'onda di impulso con un fronte di ripidità di 500 kV/ $\mu$ s (valore normale per una linea con filo di terra) ed un valore di cresta di 1 000 kV ha una lunghezza di fronte di 660 m. Una parte del fronte dell'onda può penetrare nel collegamento fra scaricatore e trasformatore e portare per riflessione la tensione ai suoi morsetti al di là della tensione di adescamento e della tensione residua dello scaricatore e pertanto al di là del livello di protezione. La differenza fra la tensione raggiunta e quella del livello di protezione è proporzionale alla distanza fra scaricatore e trasformatore e raggiunge per esempio per 30 m un valore di circa 100 kV per 0,2  $\mu$ s.

Il livello di protezione  $U_{pc}$  di uno scaricatore è dato dalla più alta delle due tensioni: la tensione di adescamento 100 % con un'onda d'impulso di 1/50  $\mu$ s da una parte, e la tensione residua di un'onda di corrente di 10 kA e 8/20  $\mu$ s dall'altra.

La tensione massima di servizio di uno scaricatore è  $U_{sp}$  (valore efficace). Il rapporto fra le tensioni  $U_{pc}$  e  $U_{sp}$  è il coefficiente di protezione  $c_p$  dello scaricatore, e quindi

$$c_p = \frac{U_{pc}}{U_{sp}}$$

Le raccomandazioni n. 99 del CEI danno per  $c_p$  un valore di 3,6 ma si trovano oggi scaricatori con valori di  $c_p$  che raggiungono 3. Lo scaricatore deve essere in grado di interrompere la corrente che proviene dalla rete dopo un adescamento contro la tensione  $U_{sp}$ .  $U_{sp}$  è legata alla tensione massima concatenata della rete  $U_m$  dal coefficiente  $c_e$  di messa a terra della rete:

$$U_{sp} = c_e \times U_m$$

In servizio normale la tensione ai morsetti dello scaricatore è  $U_m/\sqrt{3}$ . Essa aumenta in caso di corto circuito

fase-terra su un'altra fase o in caso di un'apertura della linea all'estremità lontana.

La sovratensione dipende dalle reattanze dirette  $X_1$  ed omopolare  $X_0$  della rete a monte del trasformatore, dalle impedenze caratteristiche dirette  $Z_1$  ed omopolare  $Z_0$  della linea e dalla lunghezza  $l$  della linea. Il coefficiente  $c_e$  è spesso determinato con l'aiuto del modello di rete. Per definizione si ha  $c_e \leq 0,8$  per una rete col neutro messo efficacemente a terra.

A titolo di esempio mostriamo in fig. 1 delle curve per il coefficiente  $c_e$  in caso di corto circuito a terra di una fase alla partenza di una linea aerea. In questo caso si trovano le massime tensioni delle fasi sane verso terra ai morsetti stessi del trasformatore. Noi vediamo che  $c_e$  aumenta con la lunghezza  $l$  della linea ed anche con le reattanze  $X_1$  e  $X_0$  della rete, cioè per reti di piccola potenza

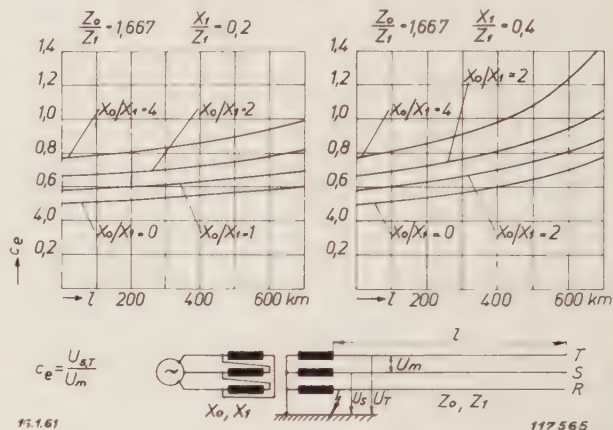


Fig. 1. — Coefficiente  $c_e = \frac{U_{s,t}}{U_m}$  di messa a terra delle fasi sane in caso di cortocircuito a terra della fase R alla partenza di una linea aerea di lunghezza  $L$ .

$X_0$ , reattanza omopolare della rete;  $X_1$ , reattanza diretta della rete;  $Z_0$ , impedenza caratteristica omopolare della linea;  $Z_1$ , impedenza caratteristica diretta della linea.

di corto circuito e messa a terra imperfetta. Per esempio  $X_1 = 0,4 Z_1$  corrisponde ad una potenza di corto circuito di 1 250 MVA a 380 kV, che sale a 3 800 MVA già a 650 kV. Con un morsetto a terra e  $0 < X_0/X_1 < 1$  noi troviamo  $c_e = 0,7$  per una linea di 500 km; con una terra imperfetta  $X_0/X_1 = 4$ ,  $c_e$  è più grande ed ha il valore  $c_e = 1,08$ .

Il livello di tenuta ad impulso  $U_c$  del trasformatore da proteggere deve presentare un margine di sicurezza in rapporto al livello di protezione  $U_{pc}$ ; poniamo quindi

$$(3) \quad U_c = c_c \times U_{pc}$$

col coefficiente di sicurezza  $c_c$  maggiore di 1.

Il Comitato per la Coordinazione dell'Isolamento del CEI ha proposto un margine del 20 %, le raccomandazioni svizzere prevedono invece il 30 %. Infine si trova per la relazione tra il livello di tenuta ad impulso  $U_c$  e la tensione  $U_m$  della rete, la relazione

$$(4) \quad U_c = c_c \times c_p \times c_e \times U_m$$

col coefficiente di tenuta  $c_t = c_c \times c_p \times c_e$ .

Noi abbiamo avuto occasione di studiare il progetto di una rete di 1 300 km a 650 kV per la trasmissione di 2 000 MVA di cui lo schema unifilare è rappresentato nella fig. 2 [1].

Per ragioni di stabilità della trasmissione le due terne di 960 km sono raccorciate elettricamente ad un angolo di 20° fra le tensioni alle due sbarre omnibus per mezzo di condensatori serie 6.



L'energia capacitiva dei condensatori e della linea deve essere compensata. A questo scopo noi abbiamo previsto delle induttanze 7 ad alta tensione collegate direttamente alla linea e protette come i trasformatori 3 e 8 da scari-

per diverse reti ad altissima tensione fra 345 e 450 kV [4] ... [9]. Vediamo innanzi tutto che il coefficiente  $c_e$  di messa a terra, che determina la tensione nominale  $U_{sp}$  degli scaricatori, varia molto da una rete all'altra, fra

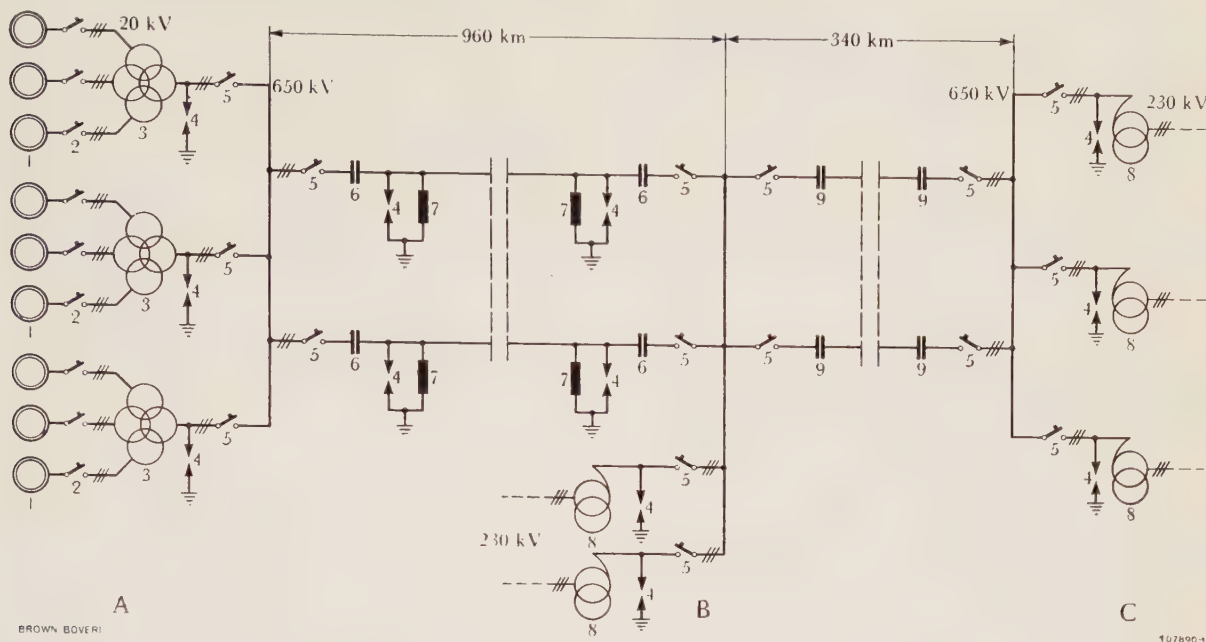


Fig. 2. — Schema unifilare della trasmissione ad altissima tensione.

catori 4. Nel caso di guasto di una induttanza si deve aprire la terna alla quale essa è collegata. Si è preferita questa soluzione a quella con induttanze a bassa tensione collegate ad appositi avvolgimenti dei trasformatori, in primo luogo per limitare le sovratensioni sulla linea funzionante a vuoto. Abbiamo effettivamente trovato un coefficiente  $c_e = 0,95$  compreso un margine di sicurezza del 5 %. Senza le induttanze collegate permanentemente alla linea in caso di marcia a vuoto delle due terne il coefficiente  $c_e$  avrebbe superato il valore di 1,56. La tensione nominale degli scaricatori sarebbe divenuta 1000 kV anziché 620 kV. Queste considerazioni mostrano l'importanza delle bobine di induttanza ad alta tensione per progetti di lunghe linee. Questo tipo di induttanza permette di abbassare considerevolmente il livello di isolamento. Vi sono casi in cui solo grazie a queste è possibile raggiungere livelli ragionevolmente bassi.

Nella tabella II abbiamo raggruppato i livelli scelti

1,24 e 1,73, e ciò per molte ragioni. Questo coefficiente è più basso per reti di grande potenza e corte, vedi l'esempio degli Stati Uniti. Diminuisce anche se si installano dei condensatori serie per aumentare la potenza della trasmissione stabile come è il caso della Svezia;  $c_e$  comporta spesso un margine di sicurezza per lo scaricatore che arriva fino al 5 %, ciò che io non trovo in generale giustificato.

Il coefficiente di protezione  $c_p$  è in funzione della qualità degli scaricatori. La tabella II mostra i progressi realizzati sulla base di due esempi, quello della Svezia e quello degli Stati Uniti. Infine il margine di sicurezza  $c_e$  tra i livelli di protezione e quelli di tenuta deve, a mio avviso, essere lasciato al giudizio dell'esercente. Tenuto conto della distanza scaricatore-trasformatore e dell'invecchiamento eventuale dell'isolamento, 1,3 mi sembra un valore conveniente.

Per terminare, consideriamo il coefficiente  $c_t$  del rap-

TABELLA II. — Livelli in diverse reti ad altissima tensione 4 ... 9.

Stato	Tensione massima di servizio $U_m$ kV <sub>eff</sub>	Distanza massima fra due cabine km	Coefficiente $\frac{U_{sp}}{U_m} = c_c$	Tensione massima fase-terra $U_{sp}$ kV <sub>eff</sub>	Coefficiente $\frac{U_{pc}}{U_{sp}} = c_p$	Livello di protezione $U_{pc}$ kV <sub>cresta</sub>	Coefficiente $\frac{U_c}{U_{pc}} = c_e$	Livello di tenuta a impulso $U_c$ kV <sub>cresta</sub>	Coefficiente $\frac{U_c}{U_m} = c_t$
Australia <sup>(1)</sup> . . . .	345	140	0,84	288 (312)	3,05	950	1,37	1300	3,77
USA <sup>(2)</sup> . . . . .	360		0,73	264	3,62	957	1,23	1175	3,27
USA <sup>(3)</sup> . . . . .	360	230	0,72	258	2,91	750	1,40	1050	2,92
Svezia <sup>(4)</sup> . . . .	400		1	400	3,75	1500	1,17	1775	4,44
Svezia <sup>(5)</sup> . . . .	400	640	0,9	360	3,06	1100	1,29	1425	3,56
Francia . . . . .	420	260	0,89	375	3,20	1200	1,21	1450	3,45
Germania . . . .	420	340	0,93	390	2,97	1156	1,25	1450	3,45
Finlandia . . . .	420	230	1	420	3,22	1350	1,22	1650	3,93
Svizzera . . . . .	420	200	0,82	345	3,19	1100	1,41	1550	3,70
Progetto <sup>(6)</sup> . . .	650	900	0,95	620	2,62	1620	1,24	2000	3,08

(<sup>1</sup>) Scaricatore per 312 kV a causa di sovratensioni di apertura elevate, BIL di 1300 kV a causa di 500 m di cavo tra trasformatore e scaricatore. — (<sup>2</sup>) Primo impianto. — (<sup>3</sup>) Stato attuale. — (<sup>4</sup>) Primo impianto con condensatori serie. — (<sup>5</sup>) Stato attuale, induttanze alta tensione previste. — (<sup>6</sup>) Con induttanze ad alta tensione e condensatori serie.



porto fra il livello di tenuta ad impulso e la tensione di servizio che varia fra 4,44 valore iniziale in Svezia, e 2,92 valore attuale negli Stati Uniti. Vediamo la netta tendenza di ridurre il livello d'impulso giustificata dall'aumento delle potenze installate, dal progresso nella conoscenza del fenomeno e dal perfezionamento degli scaricatori. Con  $c_e = 0,8$ ,  $c_p = 3$  e  $c_c = 1,3$ , si trova che  $c_t$  è uguale a 3,1, corrispondente ad un livello di impulso ragionevolmente realizzabile al giorno d'oggi. Per le reti a 420 kV di tensione massima ciò permetterà di ridurre il livello d'impulso da 1425 a 1300 kV. D'altra parte si potrà col livello d'impulso di 1775 kV già realizzato esercire delle reti fino a 560 kV di tensione massima.

### 3. - GLI AVVOLGIMENTI AD ALTISSIMA TENSIONE DEI TRASFORMATORI.

Dopo aver considerato i livelli di tensione di prova alle onde d'impulso necessari, esaminiamo qualche particolarità nella concezione dei trasformatori. Il problema posto è di costruire un trasformatore capace di subire le prove descritte, che offra una buona sicurezza di servizio, che abbia un buon rendimento e che sia concepito in modo economico. È una buona soluzione per l'insieme di queste condizioni, che fa il buon trasformatore. La tenuta alle onde d'impulso non è che una delle condizioni ed è naturalmente più difficile da realizzare per le alte che per le basse tensioni.

Se si applica un'onda d'impulso all'entrata di un avvolgimento, di cui l'altra estremità è messa a terra, la ripartizione della tensione lungo l'avvolgimento è ben lungi dall'essere proporzionale al numero delle spire. Può darsi che si trovino, nel corso di tale prova, fra diverse parti di un avvolgimento delle tensioni temporaneamente molto più grandi di quelle che corrispondono al rapporto dei loro numeri di spire. Per resistere a queste sollecitazioni due possibilità si offrono al costruttore. Egli può accettare le sollecitazioni quali esse sono e prevedere localmente nell'avvolgimento l'isolamento necessario per resistervi. Oppure egli può influenzare la ripartizione della tensione a impulso per diminuire le sollecitazioni locali. Ricordiamo che la ripartizione iniziale dell'impulso è di natura capacitiva e dipende dal rapporto fra le capacità verso terra (capacità parallele) delle diverse parti dell'avvolgimento sottoposto ad impulso e le capacità fra queste parti di avvolgimento (capacità serie). La ripartizione finale di un impulso è piuttosto determinata dalle induttanze mutue delle diverse parti dell'avvolgimento. La differenza fra queste due ripartizioni è la causa di oscillazioni interne che aumentano le sollecitazioni locali. Queste sollecitazioni sono dunque minime se le due ripartizioni sono approssimativamente le stesse. Si è a lungo cercato di raggiungere questo scopo a mezzo di « trasformatori non oscillanti ». Ma con la conoscenza più completa delle oscillazioni è stato possibile tenerne conto e dominare la loro ampiezza. Esse possono essere ridotte aumentando le capacità serie dell'avvolgimento. Poiché i trasformatori ad altissima tensione servono spesso all'interconnessione fra reti di media tensione di 220 kV o meno, li si concepisce come autotrasformatori con neutro a terra. La fig. 3 ce ne dà alcuni esempi. Gli avvolgimenti a strati *c)* non hanno bisogno che di un modesto isolamento principale verso l'avvolgimento terziario come pure fra gli avvolgimenti parallelo e serie lato alta tensione. Poiché la loro capacità serie fra strati è assai grande, la ripartizione della tensione d'impulso è eccellente. Di contro tutta la tensione d'impulso sollecita le piccole distanze radiali degli avvolgimenti nelle due parti frontali vicine ai gioghi. La distribuzione assiale delle amperspire non è omogenea, e riesce costruttivamente difficile realizzare un ammaraggio assiale degli avvolgimenti atto a resistere alle sollecitazioni meccaniche di corto circuito.

La soluzione *b)* è un compromesso con una buona ripartizione delle amperspire, la distanza d'isolamento prin-

cipale tra gli avvolgimenti parallelo e serie è grande e si possono vantaggiosamente disporre prese di regolazione sul neutro.

La concezione *a)* degli avvolgimenti cilindrici con bobine a disco riunisce i vantaggi di una facile fabbrica-

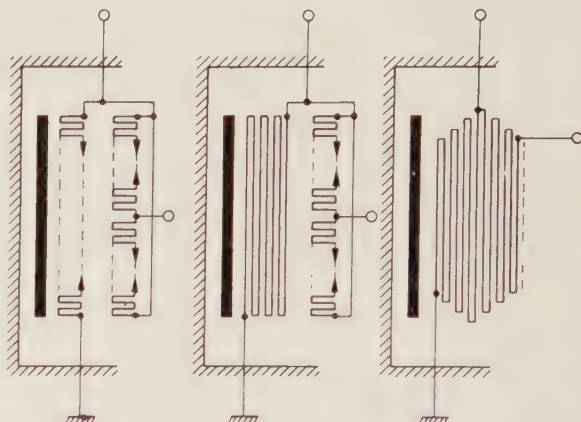


Fig. 3. — Tipi di avvolgimenti per autotrasformatori 380/220 kV. a) avvolgimento a bobine; b) avvolgimento a bobine e a strati combinati; c) avvolgimento a strati.

zione ad una buona ripartizione delle amperspire e rende agevole l'applicazione della pressione meccanica assiale necessaria. Poiché le capacità serie sono più piccole e le capacità parallele sono più grandi che con un avvolgimento a strati, la ripartizione iniziale della tensione d'impulso non è lineare e dà luogo ad oscillazioni. Le nostre ricerche hanno mostrato che è vantaggioso utilizzare gli avvolgimenti a bobine normali fino a livelli d'impulso di 1050 kV, il che corrisponde a tensioni massime di servizio di 300 kV con isolamento ridotto secondo le raccomandazioni del CEI. Per tensioni più elevate è preferibile migliorare la ripartizione per limitare la tensione fra

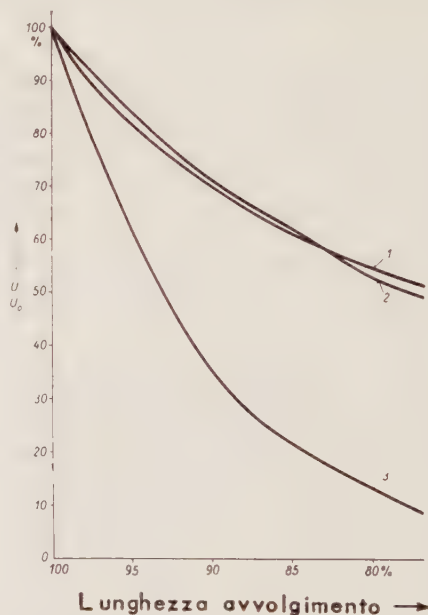


Fig. 4. — Ripartizione iniziale di impulso calcolata e misurata lungo un avvolgimento a bobine controllato.

1, ripartizione iniziale calcolata; 2, ripartizione iniziale misurata; 3, ripartizione iniziale in avvolgimento a bobine senza controllo.

bobine di entrata vicine. A questo scopo noi abbiamo aumentato la loro capacità reciproca e parliamo allora di avvolgimento controllato. La fig. 4 ne mostra i risultati [10].



Le curve 1 e 2 rappresentano rispettivamente la ripartizione iniziale calcolata e misurata di un avvolgimento controllato, in funzione della lunghezza dell'avvolgimento stesso, la curva 3 mostra la stessa cosa per un avvolgimento normale. Il miglioramento è più che

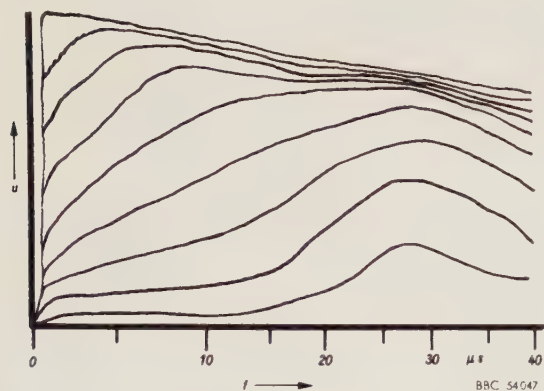


Fig. 5. — Oscillogramma di tensioni a impulso verso terra di un avvolgimento a bobine controllato.

doppio. Nella fig. 5 vediamo le tensioni verso terra in diversi punti dell'avvolgimento serie di un autotrasformatore 380/238 kV destinato alla Finlandia, che è stato provato con successo a 1 600 kV onda piena e 1 900 kV onda tronca nella coda. La ripartizione è lungi dall'essere lineare ma le tensioni non oltrepassano in alcun istante la tensione applicata al morsetto.

La fig. 6 permette di confrontare le tensioni fra due bobine vicine in diversi punti dell'avvolgimento all'applicazione di un impulso di 1/50  $\mu$ s all'entrata dell'avvolgimento. A sinistra, a) si tratta di un avvolgimento normale a 220 kV, a destra b) di un avvolgimento controllato a 380 kV [11]. Noi vediamo le tensioni all'inizio, ad un terzo, ai due terzi della lunghezza dell'avvolgimento, ed alla sua fine. Le tensioni dell'avvolgimento controllato sono più basse e la loro ampiezza varia poco in funzione della dislocazione delle bobine in confronto

autotrasformatore. L'impulso applicato al morsetto a media tensione di tale trasformatore penetra direttamente nell'avvolgimento di regolazione, mentre un avvolgimento disposto vicino al neutro è parzialmente protetto dall'avvolgimento principale.

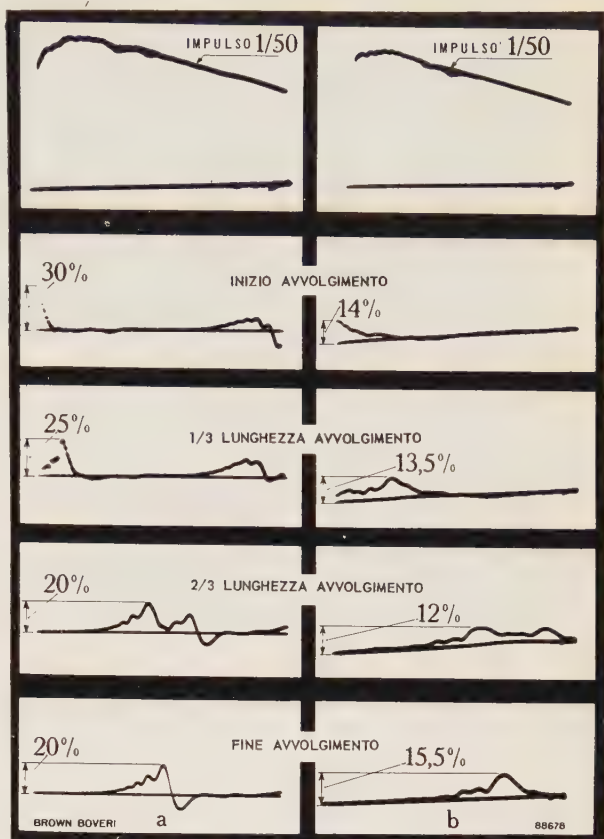


Fig. 6. — Tensioni ad impulso misurate fra bobine vicine. a) su di un avvolgimento normale a 220 kV; b) su di un avvolgimento controllato a 380 kV.

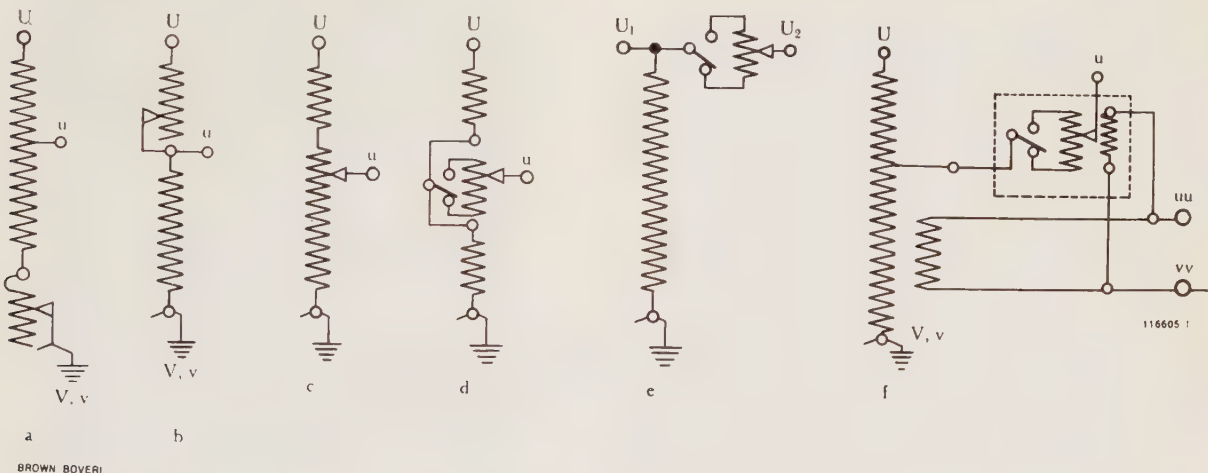


Fig. 7. — Diverse disposizioni dell'avvolgimento di regolazione.

a) regolazione sul neutro; b) c) d) e) regolazione diretta; f) regolazione trasformatore separato e commutatore sul circuito di media tensione.

a quelle dell'avvolgimento normale. I trasformatori in questione sono i primi a 380 kV costruiti da Brown Boveri, forniti alla Svezia nel 1956 e provati al livello d'impulso assai elevato di 1 775 kV [12].

Un problema d'impulso assai importante è quello della tensione fra le prese di un avvolgimento di regolazione, tensione che è limitata dalla rigidità dielettrica del commutatore disponibile. Esso è meno difficile da risolvere per delle prese sul neutro che per un avvolgimento di regolazione disposto all'entrata a media tensione di un

Nella fig. 7 vediamo diverse possibilità di disporre l'avvolgimento di regolazione: le figure da 7 a a 7 e rappresentano delle regolazioni dirette con:

- 7 a - Prese sul neutro
- 7 b - Regolazione dell'avvolgimento serie
- 7 c - Regolazione dell'avvolgimento parallelo
- 7 d - Avvolgimento di regolazione in serie con la connessione di media tensione
- 7 e - Regolazione ai morsetti per il collegamento di due reti di uguale tensione nominale.



La fig. 7f dà lo schema di una regolazione indiretta con un trasformatore di regolazione separato eccitato dalla bassa tensione del trasformatore principale.

Il commutatore si trova nel circuito a media tensione.

della parte inferiore non rappresenta che il 15 % della lunghezza totale dell'isolatore.

La linea a 380 kV Rommerskirchen-Hoheneck in Germania comporta due unità di autotrasformatori di tipo

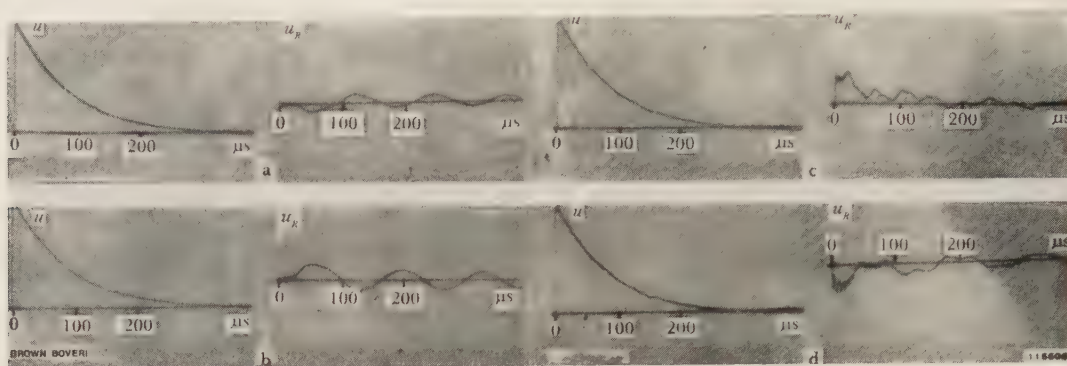


Fig. 8. — Oscillogrammi rilevati durante le prove dielettriche del trasformatore da 400/220 kV.

$u$ , onde d'impulso  $1/50 \mu s$ ;  $u_R$ , tensione dell'avvolgimento di regolazione.

Questo schema è stato utilizzato in Svizzera per gruppi di trasformatori da 400 MVA e 420/306-200, 8/10,5/10,5 kV [13]. Il comportamento ad impulso è riprodotto nella fig. 8, ove  $U$  è l'onda applicata di  $1/50 \mu s$  e  $u_R$  è la tensione dell'avvolgimento di regolazione. Nelle figure a) e b) l'impulso è applicato al morsetto a 400 kV, nelle figure c) e d) esso è applicato al morsetto 220 kV, essendo il commutatore dapprima nella posizione 1 (420/306 kV) poi nella posizione 33 (420/208 kV). I livelli d'impulso sono rispettivamente 1550 e 1050 kV. Le tensioni nell'avvolgimento di regolazione non sorpassano il 20 % dell'impulso applicato all'alta tensione, cioè 310 kV, ed il 30 % dell'impulso applicato alla media tensione, cioè 315 kV. Questo risultato conferma il successo di un gran numero di studi approfonditi e mostra che è possibile con una buona progettazione degli avvolgimenti limitare queste tensioni a valori assai limitati.

#### 4. - ESEMPI DI TRASFORMATORI.

In questo capitolo descriviamo in ordine cronologico alcuni trasformatori eseguiti o progettati. Nella fig. 9 si vede il primo trasformatore Brown Boveri da 400 kV già citato. Si tratta di una unità monofase destinata a due gruppi di 130 MVA, 13,85/400 kV, 50 Hz installati in Svezia [14, 15]. Il livello d'impulso di questi trasformatori è di 1775 kV onda piena  $1/50 \mu s$ . Un prototipo è stato sottoposto senza inconvenienti ad una trentina di onde tronche di 1880 kV, livello massimo del Laboratorio Alta Tensione a quell'epoca. Questo trasformatore

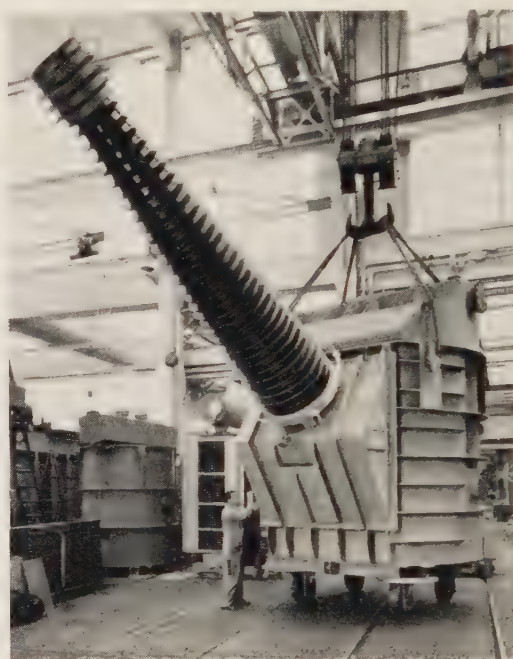


Fig. 9. — Trasformatore monofase per un gruppo trifase da 130 MVA 13,85/400 kV.

Il livello d'impulso  $1/50 \mu s$  è di 1775 kV.

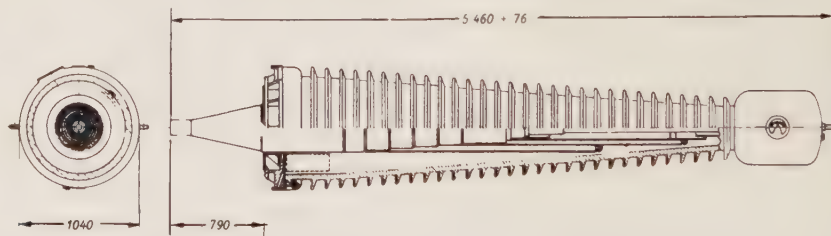


Fig. 10. — Isolatore passante a 400 kV con parte inferiore corta.

ha un circuito magnetico ad una sola colonna, con lamiere radiali e diversi gioghi di ritorno. L'avvolgimento di alta tensione a bobine ha due sezioni collegate in parallelo con entrata a metà colonna ed è disposto all'esterno. Questa concezione, combinata col montaggio dell'isolatore di entrata sul fianco della cassa ha potuto essere realizzata in modo elegante grazie all'isolatore Micafil molto corto nella sua parte inferiore [16]. Un esempio è mostrato nella fig. 10, ove la lunghezza di 790 mm

Wander costruiti da Brown Boveri-Mannheim, aventi le caratteristiche trifasi seguenti [17]:

Potenza passante	660/660/200 M	VA
Tensione	400/231 $\pm 13 \times 3,2/30$ kV	50 Hz
Livello d'impulso	1450 kV	
Livello di prova a tensione indotta	640 kV.	



Questi trasformatori comportano una regolazione sotto carico del  $\pm 18\%$ , il che è realizzato indirettamente a mezzo di trasformatore di regolazione collegato lato 220

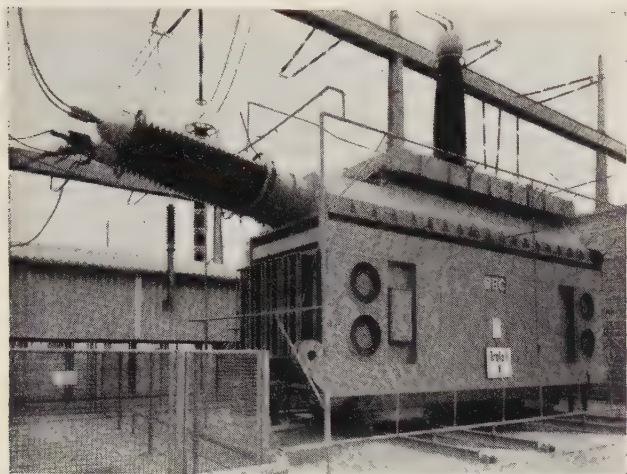


Fig. 11. — Autotrasformatore monofase per la Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerke AG - Germania.

Potenza trifase 660-660-200 MVA; tensione  $400-231 \pm 13 \times 3,2-30$  kV - 50 Hz

kV e disposto nella stessa cassa del trasformatore principale. Lo schema corrisponde dunque alla fig. 7 f col commutatore lato 220 kV. Questo commutatore e l'avvolgimento di regolazione sono protetti contro le sovratensioni da scaricatori collegati in parallelo. Il trasformatore principale è a due colonne con gli avvolgimenti paralleli e serie a bobine secondo la fig. 3 a.

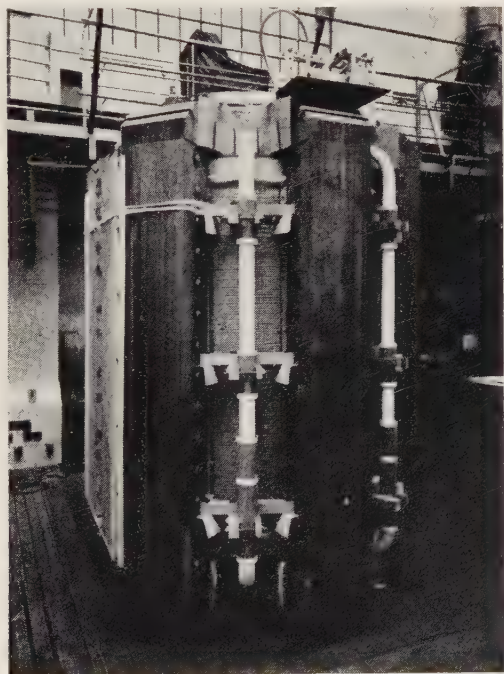


Fig. 12. — Parte attiva di un autotrasformatore monofase facente parte di un gruppo trifase da 300-300-90 MVA  $380 \pm 19-225-11$  kV con commutatore di prese sul neutro, destinato all'Electricité de France.

La fig. 11 rappresenta uno di questi trasformatori installato. Il raffreddamento è assicurato a mezzo di aerotermi incorporati nella cassa alle due estremità. Dopo smontaggio del morsetto verticale da 380 kV, che è munito a questo scopo di un contatto a tulipano, l'unità è trasportabile per ferrovia a mezzo di carro a becchi. Cinque altre unità dello stesso tipo sono in fabbricazione.

Per la linea a 380 kV Genesiat-Paris dell'Electricité de France, la Compagnie Electromecanique (consociata alla Brown Boveri) ha costruito gli autotrasformatori monofasi di due gruppi trifasi da 300 MVA e  $380 \pm 20/225/11$  kV [18]. Il loro schema corrisponde alla fig. 3 b, l'avvol-

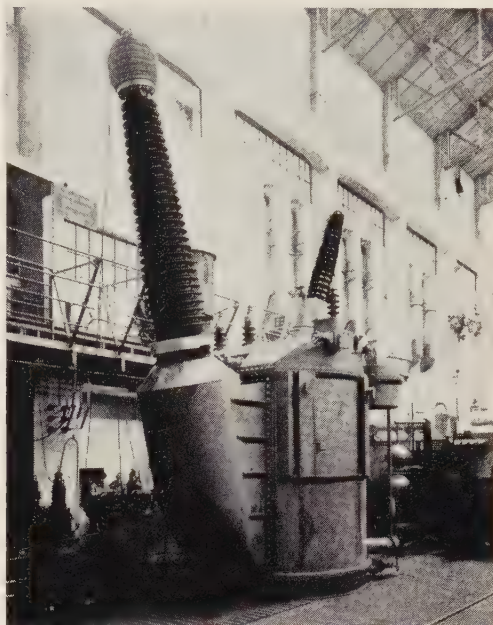


Fig. 13. — Autotrasformatore monofase 300 : 3 MVA in Sala Prove.

Tensione indotta 630 kV; tensione ad impulso 1450 kV applicata al morsetto 380 kV (ved. in fig. 12 la parte attiva).

gimento terziario è disposto all'interno, l'avvolgimento parallelo a strati nel mezzo e l'avvolgimento serie a bobine in due sezioni in parallelo con entrata all'esterno a metà colonna.

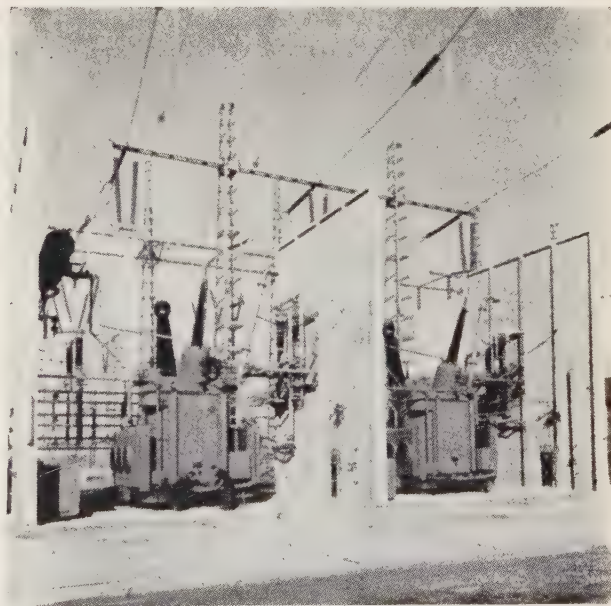


Fig. 14. — Tre autotrasformatori monofasi di un gruppo da 300 MVA nella cabina di Creney dell'Electricité de France.

Le prese per le variazioni dell'alta tensione si trovano vicino al punto neutro, il che comporta delle corrispondenti variazioni dell'induzione. Le tensioni di prova sono 630 kV di tensione indotta e 1450 kV di tensione d'im-



pulso  $1/50 \mu s$ . La fotografia 12 ci mostra la parte attiva. Riconosciamo i gioghi di ritorno del circuito magnetico ad una colonna. Fra di essi trovano posto le connessioni di serie degli strati dell'avvolgimento parallelo a 220 kV. La fig. 13 rappresenta il trasformatore nella cassa con gli isolatori montati. L'isolatore passante da 380 kV è montato anche qui sul fianco della cassa. Nella fig. 14 vediamo i trasformatori installati nella cabina di Creney dal 1958. Essi sono dotati di aerotermi ed il conservatore a sinistra è collegato al polmone Josse nel cofano in basso

ci dà una vista della parte attiva con i gioghi di ritorno ripartiti intorno al nucleo. Nella fig. 18 si vede il trasformatore completo in Sala prove. L'uscita a 238 kV è

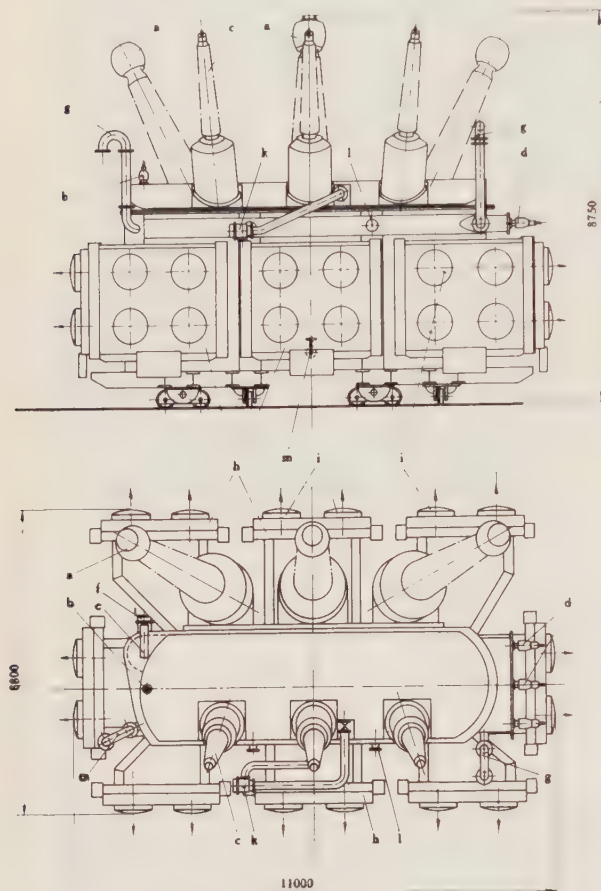


Fig. 15. — Autotrasformatore trifase per l'Electricité de France 300-300-90 MVA, 400-380-365/225/20 kV con prese sul neutro. Prove d'impulso a 1450 kV ed a tensione indotta a 630 kV. *a*, morsetti alta tensione; *b*, morsetto alta tensione (terra); *c*, morsetti media tensione; *d*, morsetti bassa tensione; *e*, commutatore di prese; *f*, comando per «on»; *g*, valvola di sicurezza; *h*, refrigerante olio; *i*, ventilatori con motore; *k*, pompe con motori; *l*, golfari di sollevamento; *m*, valvola di scarico olio.

a sinistra. Nel conservatore si trova dunque dell'azoto al di sopra dell'olio. Un trasformatore trifase delle stesse caratteristiche di cui la fig. 15 rappresenta l'ingombro, è attualmente in corso di esecuzione alla Compagnie Electromecanique. La potenza tipo di questa unità è di 180 MVA. Gli aerotermi sono ripartiti intorno all'apparecchio.

Quattro trasformatori di potenza di 420/420/165 MVA per 380/238/20 kV, 50 Hz sono stati consegnati per la cabina di Hywinkää della Imatram Voima Oy in Finlandia. Si tratta ancora di trasformatori corazzati ad una colonna con tensione di prova indotta di 625 kV, prova di impulso onda piena 1650 kV e tronca 1900 kV, valori assai elevati. Nella fig. 16 vediamo una sezione semplificata della parte attiva, all'interno l'avvolgimento di bassa tensione, nel mezzo l'avvolgimento parallelo a bobine col neutro in basso e l'uscita a 238 kV in alto ed all'esterno l'avvolgimento serie pure a bobine con due sezioni in parallelo e l'uscita a 380 kV nel mezzo. La fig. 17

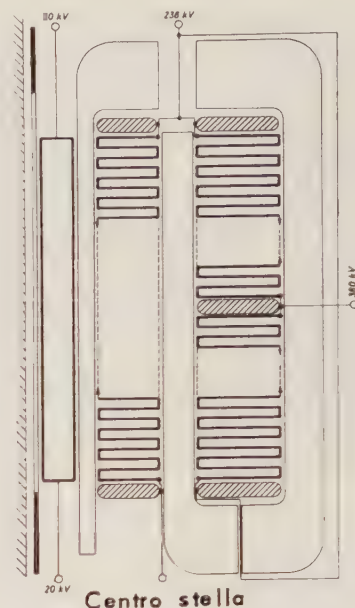


Fig. 16. — Sezione semplificata di un autotrasformatore mono-fase per un gruppo da 420/420/165 MVA e 380/238/20 kV. Dall'interno all'esterno gli avvolgimenti: terziario, parallelo e serie.

sullo stesso lato di quella a 380 kV. La fig. 19 mostra l'installazione sul posto. Il raffreddamento avviene a mezzo di batteria di radiatori montata separata.

Un autotrasformatore trifase per una potenza passante di 542 MVA ed un rapporto di trasformazione da 230 a

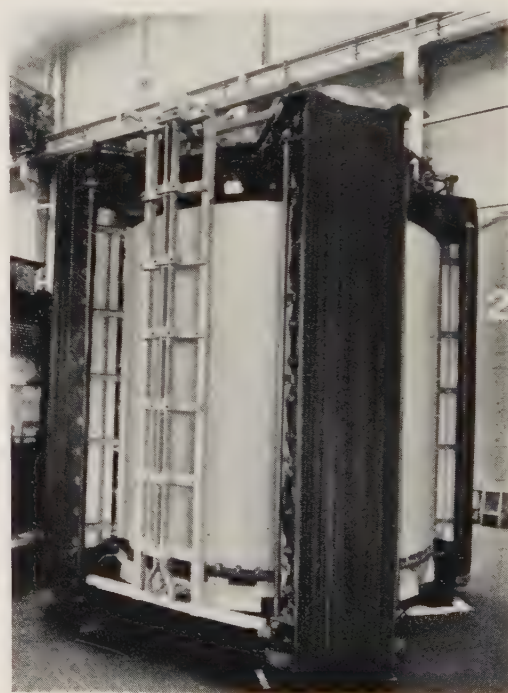


Fig. 17. — Parte attiva del trasformatore di fig. 16 con i gioghi di ritorno del circuito magnetico ad una colonna.

330 kV è stato recentemente consegnato alla « Centrali Elettriche della Renania-Westfalia » (RWE) in Germania, dalla Brown Boveri di Mannheim [19]. Il livello d'impulso è di 1320 kV e la prova di tensione indotta



520 kV. Era richiesto un campo di regolazione da 230 a 250 kV. Per poter utilizzare un solo commutatore a gradini trifase si è scelto una regolazione sul neutro mal-

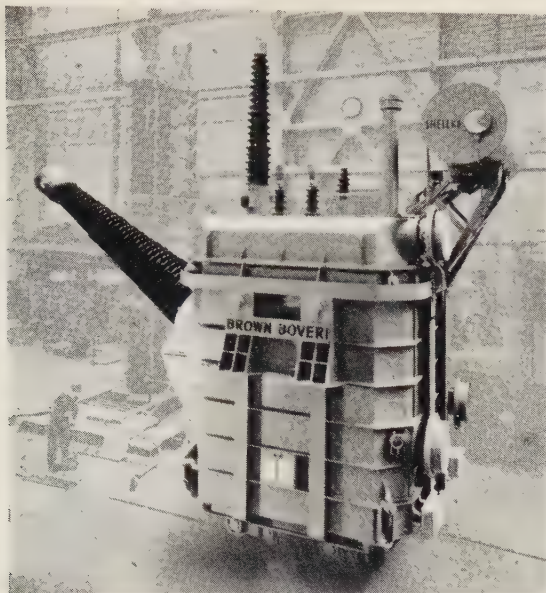


Fig. 18. — Vista completa del trasformatore di fig. 17 destinato alla cabina di Hyvinkää della Imatran Voima Oy (Finlandia). Tensione di prova indotta 725 kV. Tensione di prova a impulso 1650-1900 kV.

grado la maggior variazione del numero di spire rispetto alla regolazione sull'entrata a 230 kV e la variazione di induzione del circuito magnetico in funzione della regolazione, che ne risultava. In più questo trasformatore, la

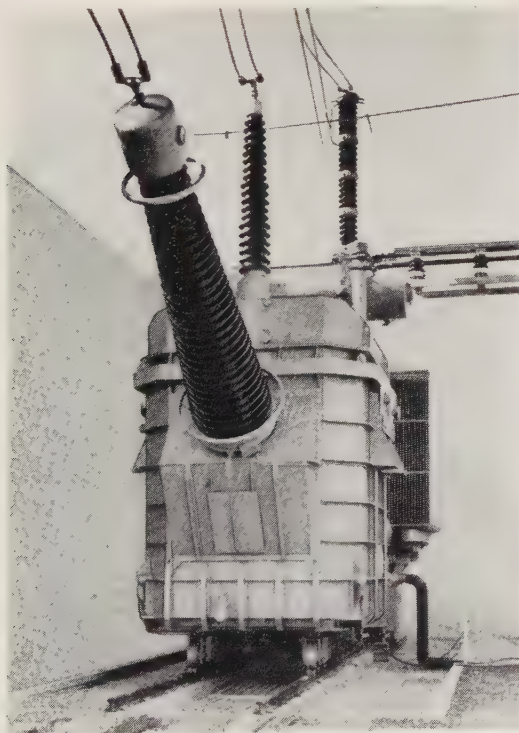


Fig. 19. — Uno dei quattro autotrasformatori monofasi installati nella cabina di Hyvinkää in Finlandia per un gruppo trifase da 420-420-165 MVA e 380-238-20 kV con polo di riserva.

cui tensione di corto circuito è del 10 % doveva essere trasformabile in un trasformatore di interconnessione a due avvolgimenti per 110/220 kV con una potenza di

200 MVA ed una tensione di corto circuito del 13 %. Gli schemi riportati in fig. 20 mostrano la soluzione tecnica, a) è il collegamento per il funzionamento da autotrasformatore, b) quella per il funzionamento a due avvolgimenti. L'avvolgimento terziario 1 è disposto all'interno,

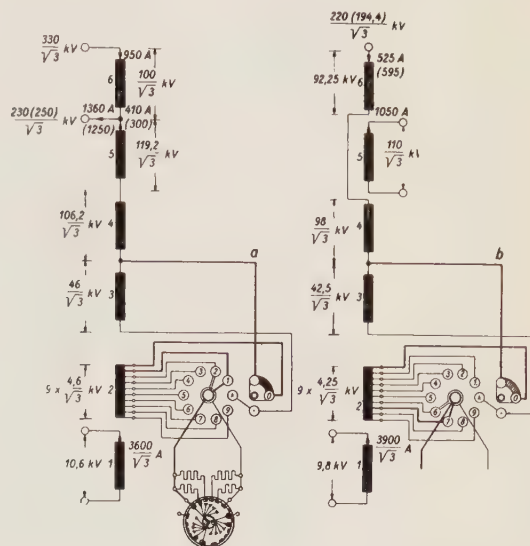


Fig. 20. — Autotrasformatore trifase trasformabile in trasformatore a due avvolgimenti. Connessioni e carichi dei diversi avvolgimenti.

a) come auto trasformatore per 542 MVA e 230-330 kV col commutatore nella posizione corrispondente, tra parentesi i valori a 250-330 kV; b, come trasformatore normale per 200 MVA e 110-220  $\pm 6 \times 4,24$  kV, correnti riferite a 110-220 kV, tra parentesi a 110-194,5 kV.

l'avvolgimento serie 6 dell'autotrasformatore all'esterno della colonna. Gli avvolgimenti 2 e 3 servono alla regolazione fine e grossolana, e gli avvolgimenti 4 e 5 rappresentano l'avvolgimento parallelo; il trasformatore è dun-



Fig. 21. — Autotrasformatore per 542 MVA e 330-230-250 kV, parte attiva col coperchio; in primo piano il commutatore su neutro.

que qui semplice concentrico. Col collegamento b) l'avvolgimento 5 è a 110 kV e gli altri avvolgimenti in serie, ivi compreso quello di regolazione, forniscono una ten-



sione da 194,5 a 245,5 kV. La disposizione è allora biconcentrica. La somma delle potenze di dimensionamento dei sei avvolgimenti conduce alla rimarchevole potenza tipo del trasformatore di 320 MVA a 50 Hz. Ciò che rap-

portante in servizio. Esso è trasportabile previo smontaggio del conservatore dell'olio, che è disposto sul coprchio, e degli isolatori. Il raffreddamento è assicurato da una batteria di quattro aerotermini che si vede a destra,

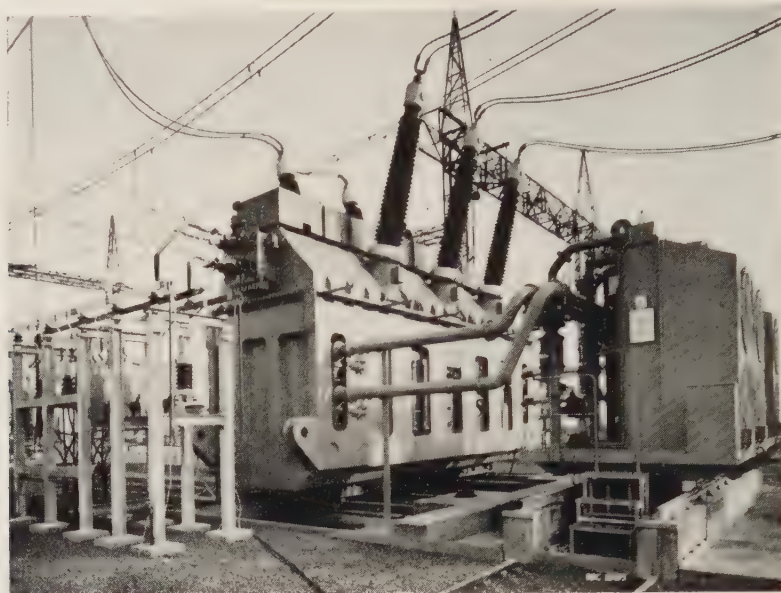


Fig. 22. — Autotrasformatore per 542-542-60 MVA e  $230+18 \times 1,1-330-10$  kV in servizio. Il raffreddamento è effettuato mediante una batteria di aerotermini.

presenta oggi il limite trasportabile nella sagoma di trasporto ferroviario europeo.

In questa occasione mettiamo in evidenza che la po-

gnuno dei quali è capace di smaltire 450 kW e tre dei quali sono sufficienti a raffreddare il trasformatore a pieno carico.

La prima centrale alpina idroelettrica svizzera dotata di trasformatore a 400 kV è Sils della « S. A. Centrali Idroelettriche del Reno posteriore » di Thusis (Grigioni). Si tratta di sette trasformatori monofasi, che formano due gruppi trifasi da 400 MVA con una unità di riserva.

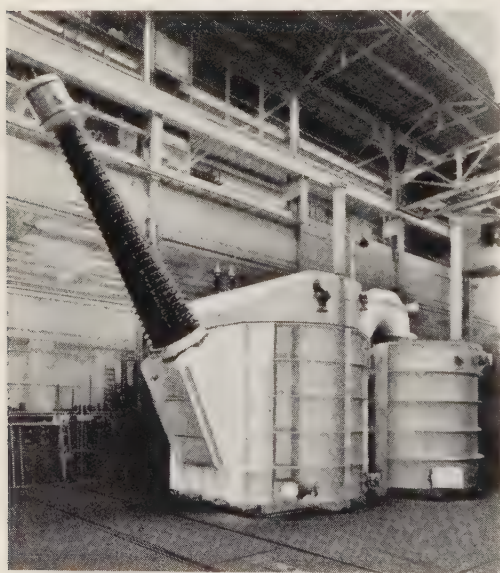


Fig. 23. — Autotrasformatore monofase con trasformatore di regolazione separato destinato alla Centrale di Sils. (Ved. fig. 25). Gruppo trifase da 400-280-72,5-72,5 MVA 50 Hz; tensione 420-250 +  $17 \times 3,29-10,5-10,5$  kV —  $15 \times 3,29$  tensione di prova 680 kV a tensione indotta e 1550 kV tensione ad impulso  $1/50 \mu s$ .

tenza-tipo di un autotrasformatore semplice 230/330 kV per una potenza passante di 540 MVA non è che 164 MVA, cioè la metà del trasformatore testè descritto. La realizzazione delle complicazioni richieste non è stata pertanto gratuita. Nella fig. 21 noi vediamo la parte attiva del trasformatore con commutatore in primo piano. Fra gli avvolgimenti e la cassa è disposto un diaframma isolante. La fig. 22 rappresenta il trasformatore con la cassa

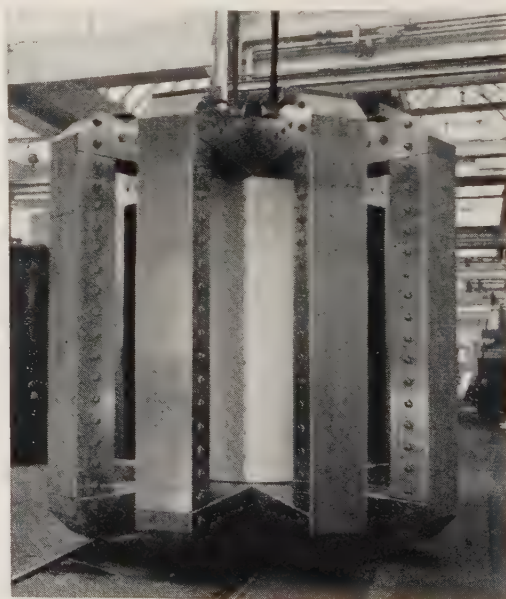


Fig. 24. — Circuito magnetico dell'autotrasformatore di fig. 22 da 400 : 3 MVA con nucleo a lamiere radiali e diversi gioghi di ritorno. Questo circuito permette di trasformare 100 MVA con una sola colonna avvolta.

Ogni gruppo possiede due avvolgimenti separati da 72,5 MVA a 10,5 kV alimentato ognuno da un generatore (13). Era prescritto il funzionamento indipendente dei due ge-



neratori sia per la potenza attiva sia per la potenza reattiva. I trasformatori servono allo stesso tempo all'interconnessione delle reti 220 kV e 400 kV.

L'energia delle altre centrali della zona è trasportata a Sils a 220 kV e poi inviata verso Zurigo a 400 kV. Il

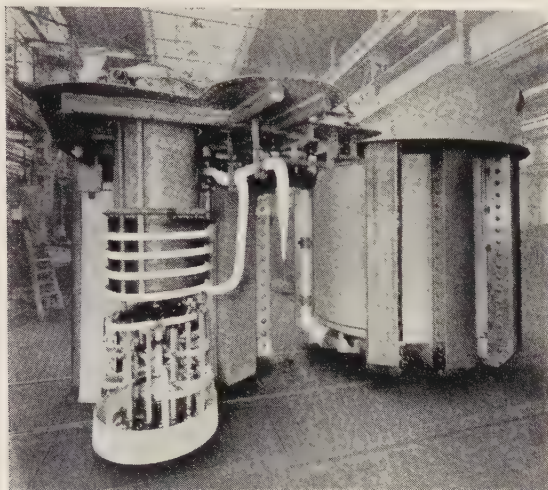


Fig. 25. — Parti attive dell'autotrasformatore e del trasformatore di regolazione col commutatore sotto carico per un gruppo trifase da 400 MVA e 420 kV.

rapporto delle tensioni fra queste due reti doveva poter essere variato di 20 % sul lato tensione intermedia fra 200,8 e 306 kV. Le prove dielettriche dell'avvolgimento 400 kV erano 1550 kV di tensione ad impulsi e 680 kV di tensione indotta. Le possibilità di trasporto erano limitate da una ferrovia a scartamento ridotto, con limitazioni di peso, di sagoma e di lunghezza.

Tutte queste condizioni ci hanno condotto alla soluzione con trasformatori monofasi a regolazione indiretta secondo la fig. 7 f ed a disporre il trasformatore principale ed il trasformatore di regolazione ciascuno in una propria cassa. L'autotrasformatore principale ha 4 avvolgimenti (fig. 23) con le caratteristiche seguenti:

$$400/280/72,5/72,5 \text{ MVA a } 50 \text{ Hz}$$

$$420/250/10,5/10,5 \text{ kV.}$$

I suoi avvolgimenti serie e parallelo a bobine sono eseguiti in due sezioni parallele ciascuna accoppiata ad uno degli avvolgimenti di bassa tensione  $U_a - V_a$  e  $U_b - V_b$  (ved. schema fig. 26). Questi avvolgimenti alimentati da due generatori sono allo stesso tempo collegati a due avvolgimenti corrispondenti del trasformatore di regolazione, il cui avvolgimento di alta tensione, a strati, in due sezioni in parallelo, è collegato da una parte direttamente all'uscita 250 kV dell'autotrasformatore, dall'altra parte attraverso il commutatore a gradini, al morsetto  $U$  a 220 kV. Il commutatore ha +17 e -15 gradini di 3,29 kV ognuno.

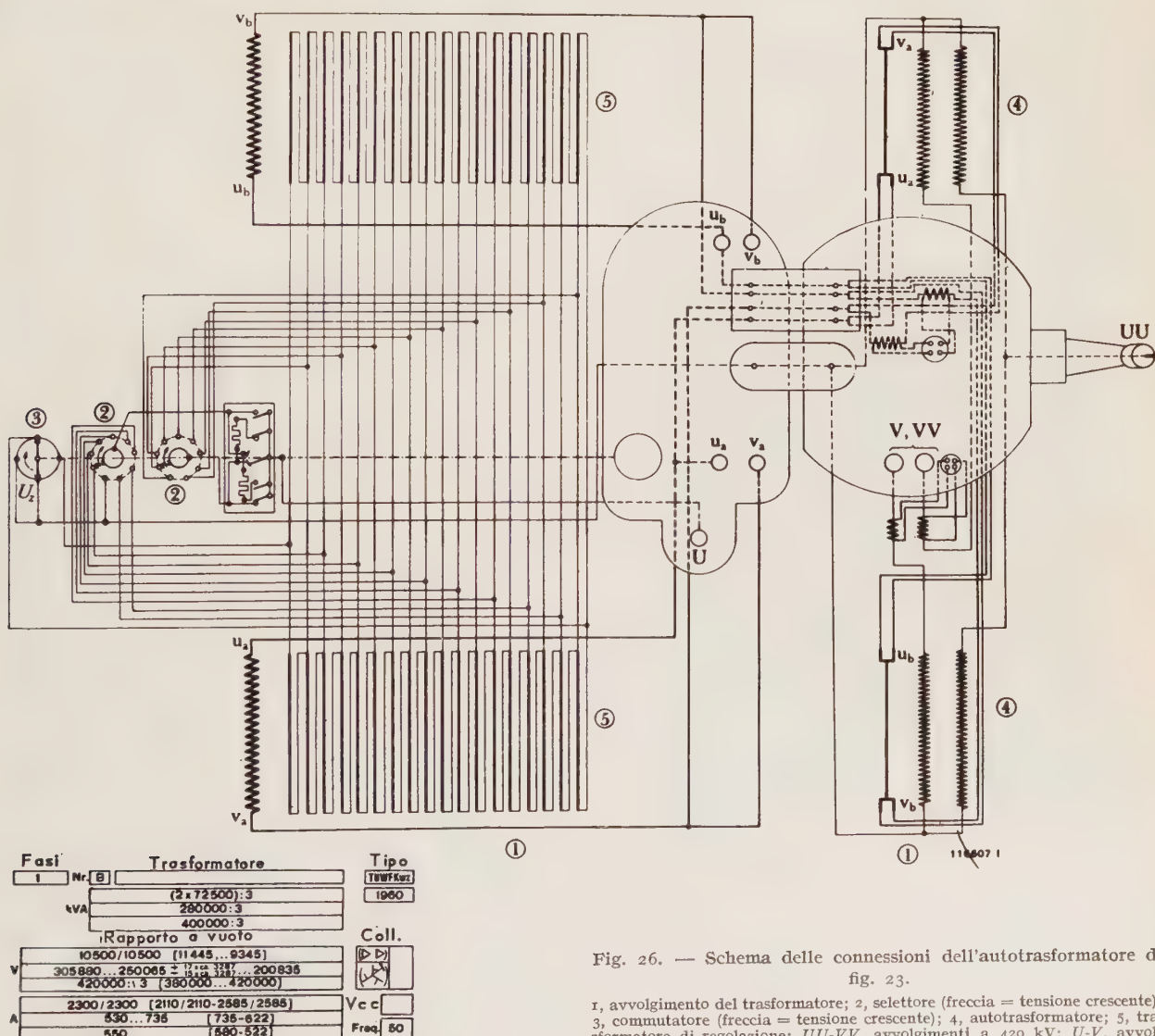


Fig. 26. — Schema delle connessioni dell'autotrasformatore di fig. 23.

1, avvolgimento del trasformatore; 2, selettore (freccia = tensione crescente); 3, commutatore (freccia = tensione crescente); 4, autotrasformatore; 5, trasformatore di regolazione;  $UU-VV$ , avvolgimenti a 420 kV;  $U-V$ , avvolgimenti a 250 kV;  $u_a-v_a$ ,  $u_b-v_b$ , avvolgimenti a 10,5 kV.



I due trasformatori sono del tipo corazzato ad una sola colonna a lamierini radiali. La fig. 24 mostra il circuito magnetico del trasformatore principale coi gioghi di ritorno a J, distribuiti intorno alla colonna. La grande apertura serve a disporre l'uscita a 400 kV. La potenza

cavi dell'uscita 220 kV. Lungo il trasformatore principale si vede la connessione interna a 250 kV che va dall'alto verso il basso.



Fig. 27. — Trasporto di un autotrasformatore da 400 kV per la centrale idroelettrica di Sils.

Carro speciale con carrelli per scartamento ridotto.

tipo di questo circuito per un trasformatore da 400 kV è di 100 MVA e rappresenta la massima potenza fino ad oggi trasformata su una sola colonna a 50 Hz ed a un livello di 1550 kV.

Le parti attive dei due trasformatori come pure il commutatore di regolazione sono rappresentate nella fig. 25.

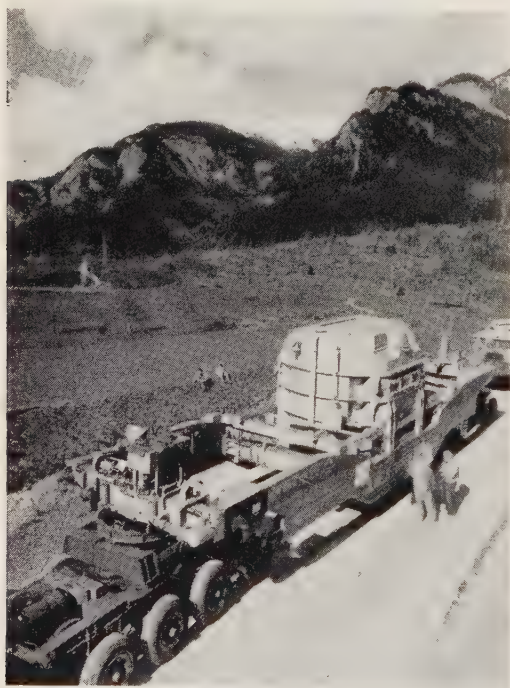


Fig. 28. — Trasporto e carro come in fig. 27 ma con carrelli per il trasporto stradale.

Il commutatore è completamente racchiuso nell'interno del trasformatore e comprende il selettore, l'interruttore di carico e le resistenze di commutazione. È un tipo nuovo da 245 kV con + 17, — 15 gradini, per 1000 A. La connessione visibile in primo piano è quella della scatola

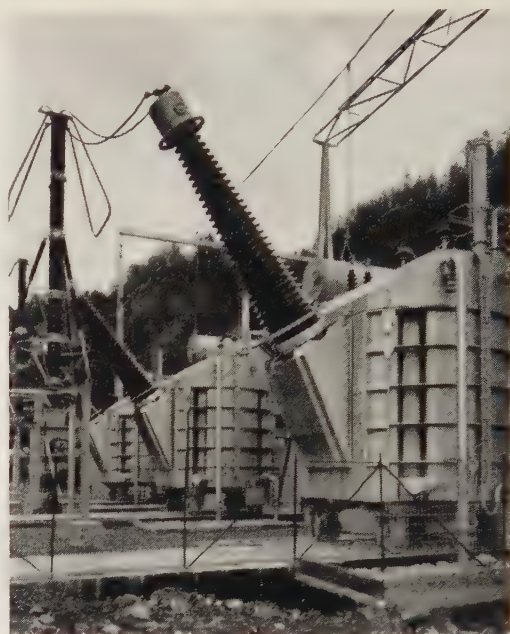


Fig. 29. — Uno dei gruppi trifasi di autotrasformatori per 400 MVA e 400 kV della centrale di Sils i/D delle Centrali Idroelettriche del Reno Posteriore a Thusis (Grigioni).

I due trasformatori sono collegati fra loro da cavi, come si vede nella fig. 26. Essendo anche l'uscita a 220 kV eseguita in cavo, il solo passante d'alta tensione è

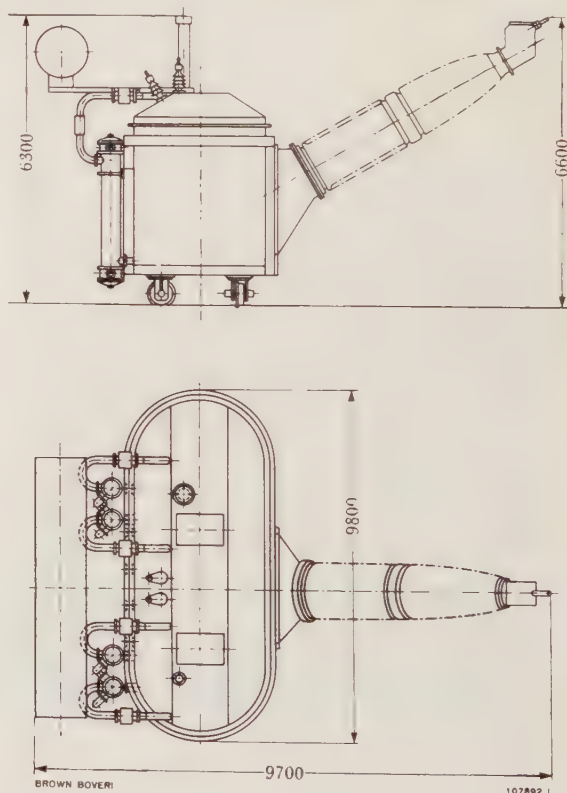


Fig. 30. — Trasformatore elevatore monofase di un gruppo trifase da 600 MVA 20/600 kV

quello a 400 kV montato nel modo già noto con una tasca sul fianco della cassa.

Il trasporto è stato eseguito a mezzo di un carro ribas-



sato speciale della Casa Welter-Furer di Zurigo (ved. figura 27), adattabile a diversi scartamenti ferroviari o alla strada. Questo adattamento si esegue cambiando i carrelli e ciò è possibile grazie a martinetti idraulici incorporati nel carro. Il carro lascia le officine di Baden per ferrovia a scartamento normale. Nella fig. 27 lo vediamo caricato di un autotrasformatore, mentre viaggia sulla linea a scartamento ridotto delle Ferrovie dei Grigioni; esso è allora dotato di due paia di carrelli adatti al nuovo scartamento. Infine, nella fig. 28, il carro viaggia sulla strada vicino alla centrale idroelettrica di Sils.

Nella fig. 29 si vede uno dei gruppi trifasi da 400 kV e 400 MVA in servizio a Sils. A sinistra si trovano gli scaricatori a 300 kV di tensione nominale che assicurano il livello di protezione di 1100 kV per gli avvolgimenti a 400 kV dei trasformatori. L'impianto di raffreddamento ad acqua dei trasformatori è disposto nel sottosuolo, e vi conducono i tubi d'olio, che si vedono davanti alle casse.

Tutti i trasformatori descritti hanno delle tensioni di corto circuito variabili fra il 7 e l'11 %. Esse rappresentano una potenza totale di oltre 4000 MVA. Questa esperienza pratica dà via libera per attaccare il prossimo gradino di tensione che sarà da 650 a 750 kV. La fig. 30 ci mostra un esempio: essa rappresenta un trasformatore monofase per un gruppo da 600 MVA e 20/600 kV con circuito magnetico a 5 colonne studiato per livello d'impulso di 2000 kV ed alimentato da 3 generatori. Le tre colonne intermedie portano ognuna un avvolgimento di bassa tensione indipendente e gli avvolgimenti di alta tensione sono collegati in parallelo. Si notano il morsetto di A.T. che esce nel mezzo della parete della cassa ed il refrigerante ad acqua. È evidente che sarà più facile realizzare trasformatori con questo livello di isolamento con schemi semplici che trasformatori complicati da esigenze multiple.

##### 5. - CONCLUSIONE.

L'esame di diverse reti ad altissima tensione ci ha mostrato come è stato possibile ridurre il rapporto fra la tensione di tenuta ad impulso dei trasformatori e la tensione massima di servizio da 4,44 a 3,45 in Europa ed a 2,92 negli Stati Uniti. Il livello d'impulso per reti con tensione massima di 420 kV è stato ridotto da 1765 kV (valore iniziale) a 1425 kV (CEI). Questa evoluzione si è avuta in meno di dieci anni. Essa è dovuta principalmente al miglioramento degli scaricatori ed alla limitazione delle sovratensioni fase-terra alla frequenza di servizio. Questa riduzione è la conseguenza dell'aumento delle potenze e dell'interconnessione delle reti ed anche di una migliore conoscenza dei fattori che influenzano questi fenomeni. Capacità serie ed induttanze parallele di compensazione diminuiscono queste sovratensioni. Oggi sembra possibile andare ancora più in là ed adottare in modo generale un rapporto di 3,1, per esempio 1300 kV d'impulso per 420 kV massimi di servizio. Bisogna anche tendere a limitare le sovratensioni di manovra. Le sovratensioni di apertura di trasformatori a vuoto possono essere limitate da scaricatori e quelle di apertura di linee a vuoto da interruttori senza riadescamento.

L'esame degli avvolgimenti di trasformatori ad altissima tensione ci ha mostrato che un controllo capacitivo della distribuzione della tensione ad impulso ha permesso di realizzare economicamente trasformatori fino a tensione di prova ad impulso di 1775 kV a onda piena e 1900 kV a onda tronca. L'importanza che gli autotrasformatori possono acquistare nelle reti di distribuzione non deve essere sottovalutata. Fornendoli di una regolazione sul lato media tensione fino a 220 kV, si realizzano soluzioni interessanti ed economiche. È possibile li-

mitare efficacemente le sollecitazioni negli avvolgimenti di regolazione anche per campi di regolazione di  $\pm 20\%$ . La descrizione di alcune realizzazioni ha mostrato che la potenza tipo massima attuale è di 100 MVA per colonna e dell'ordine di 300 MVA per unità a 50 Hz per trasformatori ad altissima tensione e con dimensioni compatibili con la sagoma ferroviaria europea.

Le conoscenze attuali permettono di iniziare lo studio di problemi del prossimo gradino di tensione fra 650 e 750 kV. Lo studio di un progetto di 650 kV per distanze di trasmissione di 900 km fra due cabine, ci ha condotto a livelli di tenuta ad impulso di 2000 kV, che sembrano realizzabili al momento attuale.

Manoscritto pervenuto il 26 maggio 1961.

##### BIBLIOGRAFIA

- [1] A. GOLDSTEIN e W. FREY: *Transmission d'énergie à très haute tension*. - «Rev. Brown Boveri», 46 (1959), 4, pagg. 227÷249.
- [2] F. BALIENSBERGER: *Forme et grandeur des surtensions apparentes lors de la coupure de faibles courants inductifs et capacitifs dans les réseaux à haute tension*. - «Rev. Brown Boveri», 47 (1960), 4, pagg. 195÷224.
- [3] M. CHRISTOFFEL: *L'action des surtensions de manœuvre sur les transformateurs de puissance, les bobines d'inductance, les transformateurs de tension et de courant*. - «Rev. Brown Boveri», 47 (1960), 4, pagg. 225÷230.  
B. GÄNGER: *Surtensions de manœuvre admissible et essais du tenue d'isolation*. - «Rev. Brown Boveri», 47 (1960), 4, pagg. 231÷238.
- [4] J. G. THORNTON e W. DIESENDORF: *The 330 kV Transmission System in Australia*. - «Rapporto CIGRE», 1960, 401.
- [5] F. M. PORTER e H. P. ST. CLAIR: *The 345-kV Transmission Systems of the American Electric Power Co. and the Ohio Valley Electric Corporation*. - «Rapporto CIGRE», 1960, 407.
- [6] G. VON GEYER, G. JANCKE e B. HOLMGREN: *Le choix du niveau d'isolation dans les réseaux de longues lignes de transport d'énergie à haute tension*. - «Rapporto CIGRE», 1958, 414.
- [7] P. LAURENT e M. MONNET: *La coordination des isolements sur le réseau à 380 kilovolts*. - «Rev. Gen. de l'Electricité», 68 (1959), 1, pagg. 12÷14.
- [8] G. KLOS e W. RABUS: *Isolationskoordination und Ableiter bei der 380-kV-Uebertragung Rommerskirchen-Hoheneck*. - «ETZ», A 79 (1958), 7, pagg. 240÷245.
- [9] W. CASPER: *Erste 380 kV-Uebertragung in Finland*. - «BB C Nachrichten», 42 (1960), 9, pagg. 451÷455.
- [10] W. CASPER: *Die 380-kV-Transformatorengruppe des Umspannwerkes Hyvinkää (Finland)*. - «BBC-Nachrichten», 42 (1960), 9, pagg. 455÷473.
- [11] M. CHRISTOFFEL e A. GOLDSTEIN: *Discussion*. - «Bull. ASE», 48 (1957), 18, pagg. 817÷818.
- [12] B. GÄNGER: *Essai de transformateurs à 380 kV au moyen d'ondes de choc de 1,75 million de volt*. - «Rev. Brown Boveri», 43 (1956), 12, pagg. 525÷532.
- [13] A. EDLINGER: *Autotransformateurs à 400/220 kV*. - «Rev. Brown Boveri», 47 (1960), 5/6, pagg. 292÷305.
- [14] A. MEYERHANS: *Transformateurs et bobines d'extinction à tôles radiales*. - «Rev. Brown Boveri», 43 (1956), 6, pagg. 187÷205.
- [15] F. COPPADORO: *Realizzazione di trasformatori per la rete europea a 380 kV ed autotrasformatori di interconnessione*. «Ind. Italiana Elettrotecnica» (1956), 6, pag. 209÷216.
- [16] H. KAPPELER: *Réalisation récentes de traversées pour transformateurs 380 kV*. - «Rapporto CIGRE», 1958, 126.
- [17] F. PARSCHALK, E. RUOSS e K. SCHLOSSER: *Le premier transport d'énergie électrique à 380 kV d'Allemagne*. - «Rev. Brown Boveri», 45 (1958), 3, pagg. 128÷136.
- [18] G. ROGÉ: *Les Autotransformateurs à 400 000 V pour la première liaison française à 400 kV*. - «Techniques CEM» (1958), 36, pagg. 25÷29.
- [19] K. SCHLOSSER: *Ein 542 MVA Spartransformator in einer Einheit*. - «BBC-Nachrichten», 43 (1961).



# CONTRIBUTO ALLO STUDIO DELL'AVVIAMENTO DELLE MACCHINE SINCRONE

F. CIAMPOLINI (\*)

*Nel presente lavoro si studia l'avviamento delle macchine sincrone in asincrono, tramite la teoria della doppia reazione di Park. Le equazioni a cui si perviene hanno il pregio di un'ampia generalità e descrivono il fenomeno con aderenza alla realtà fisica. Dopo aver mostrato il procedimento di calcolo dei vari parametri che intervengono nelle suddette equazioni, nella parte finale dell'articolo si considera un esempio numerico. I calcoli ad esso relativi sono stati eseguiti con la calcolatrice della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna. Il risultato di essi mostra l'influenza di vari elementi sul fenomeno e fornisce elementi di raffronto con altri metodi di studio seguiti da altri autori.*

## I. - INTRODUZIONE.

La presente memoria prende lo spunto da un interessante lavoro comparso sulla rivista « L'Elettrotecnica » alcuni anni fa. (B. 1). In esso l'A. svolge lo studio dell'avviamento in asincrono dei motori sincroni, inquadrandolo sostanzialmente nella teoria della doppia reazione di Park con l'ausilio di un'ipotesi semplificativa, riguardante la gabbia smorzatrice. Tale ipotesi consiste nel sostituire alle sbarre della gabbia smorzatrice una lamina metallica « equivalente », ricoprente le espansioni polari. Con l'artificio suddetto si ottiene il considerevole vantaggio di ridurre il numero delle equazioni, che descrivono il funzionamento della macchina. Sono infatti sufficienti, ovviamente, qualunque sia il numero delle sbarre smorzatrici, due sole equazioni (relative al cosiddetto circuito smorzatore longitudinale e trasversale) in più di quelle dei normali circuiti statorici e rotorici, per rendere possibile il calcolo delle varie correnti che interessano. Per contro, la determinazione dei coefficienti delle suddette equazioni è così laboriosa da rendere veramente arduo il calcolo numerico nei singoli casi particolari. Oltre a ciò non è facile rendersi conto a priori dell'ordine di grandezza dell'approssimazione introdotta con l'ipotesi della lamina equivalente.

Nonostante questa inevitabile contropartita, il metodo rende possibile, e in forma assai elegante, la soluzione di un problema, risolubile, fino a qualche anno fa, solo con l'impiego di costosi analizzatori differenziali di reti.

La possibilità, che ormai a tutti possono avere, di impiegare calcolatori numerici a elevata velocità, consente però ora di poter rivedere una quantità considerevole di problemi, prima praticamente inaccessibili, e fra questi anche lo studio dell'avviamento delle macchine sincrone in asincrono. Scopo della presente nota è appunto quello di mostrare come, con un'opportuna impostazione del calcolo e con maggiore aderenza alla realtà, considerando la gabbia in luogo della lamina, sia possibile determinare tutte le grandezze che interessano nel suddetto avviamento, impiegando tempi di calcolo modestissimi. Ciò rende concepibile, ad esempio in sede di progetto, il ripetere, eventualmente anche molte volte, il procedimento al fine di esaminare l'influenza dei vari parametri.

Per inciso, si osserva come l'uso delle calcolatrici nu-

meriche riproponga (un po' in tutti i rami della tecnica) in termini attuali, la necessità di divulgare numerosi metodi di indagine, che godono di grande generalità (e sono perciò didatticamente assai efficaci) ma che finora sono stati spesso trascurati o ignorati per la difficoltà di tradurli sul piano delle applicazioni pratiche. Fra essi, nel campo delle macchine elettriche, occupa un posto di rilievo la teoria della doppia reazione di Park per le macchine sincrone, teoria proposta da qualche decina di anni ma tuttavia non molto impiegata (forse per i motivi suddetti) nelle trattazioni che figurano nella nostra letteratura, nonostante gli indubbi pregi di generalità e di eleganza. Per questo e per maggior completezza della presente nota, si è ritenuto non inutile riportare, in appendice, una breve sintesi di tale teoria.

## 2. - IPOTESI FONDAMENTALI.

Le ipotesi fondamentali su cui si fondano i successivi sviluppi, possono così sintetizzarsi:

- 1) assenza di saturazione dei circuiti magnetici;
- 2) gabbia smorzatrice con sbarre disposte solo nella regione occupata dai poli (sono assenti cioè le sbarre nella zona interpolare);
- 3) perfetta simmetria di distribuzione delle sbarre rispetto agli assi diretto e trasverso (v. nomenclatura in appendice);
- 4) avvolgimento di eccitazione chiuso in corto circuito, o eventualmente su una resistenza fissa durante l'avviamento;
- 5) macchina collegata a una rete a tensione costante con sistema di tensioni simmetriche;
- 6) distribuzione sinusoidale dei conduttori di statore;
- 7) avviamento inteso come successione di stati di equilibrio elettrico.

Delle ipotesi elencate, solo le ultime due richiedono qualche chiarimento.

L'ipotesi 6) consiste nel pensare di sostituire all'avvolgimento reale, che genera un diagramma di f.m.m. a scalini, un avvolgimento equivalente, distribuito con continuità lungo il traferro e avente un numero di conduttori per unità di lunghezza  $n(x)$  espresso dalla seguente relazione (v. elenco dei simboli in appendice):

$$(1) \quad n(x) = n_M \cos \pi \frac{x}{\tau}$$

ove  $x$  è un'ascissa corrente lungo il traferro, computata a partire dal punto medio della regione occupata dalle cave adiacenti, assegnate sotto un polo alla medesima fase.

L'equivalenza che imponiamo ai due avvolgimenti consiste nel far sì che, a parità di corrente massima  $I_M$ , l'ampiezza massima della prima armonica del diagramma di amperspire generato dall'uno coincida con l'ampiezza del diagramma di amperspire sinusoidali generato dall'altro. Ciò porta a scrivere:

$$(2) \quad \frac{n_M I_M \tau}{\pi} = \frac{2}{\pi} k_a \frac{N}{2 p} I_M$$

(\*) Dr. ing. F. CIAMPOLINI dell'Istituto di Elettrotecnica dell'Università di Bologna.



da cui si ricava il valore massimo di conduttori per unità di lunghezza

$$(3) \quad n_M = \frac{k_a N}{p \tau}$$

e quindi il numero totale  $N_e$  di conduttori per fase, dell'avvolgimento equivalente con distribuzione sinusoidale risulta:

$$(4) \quad N_e = \frac{2}{\pi} n_M 2 p \tau = \frac{4 k_a}{\pi} N$$

L'ipotesi 6) è assai comoda perchè consente di tener conto, nella valutazione dei flussi concatenati con le fasi statoriche (App. 3° gruppo di equazioni), dei soli campi di 1<sup>a</sup> armonica al traferro.

L'ipotesi 7) corrisponde a postulare una notevole inerzia delle masse rotanti, si dà poter trascurare i transitori elettrici nei vari circuiti e le oscillazioni pendolari prodotte dalla coppia pulsante della macchina, funzionante fuori del sincronismo.

### 3. - EQUAZIONI DELLA MACCHINA SINCRONA DURANTE L'AVVIAMENTO.

Quanto esporremo nei prossimi paragrafi si fonda sulla teoria della doppia reazione di Park, per la quale rimandiamo all'appendice. Considereremo pertanto premesse tutte le considerazioni ivi svolte. Si è visto come l'ipotesi 7) ci autorizzi a considerare la macchina, allorchè passa per una data velocità durante l'avviamento, come se stesse funzionando a regime con quella stessa velocità. D'altra parte, si è visto pure (App. 4° gruppo di equazioni) che, per un dato valore dello scorrimento  $s$ , le tensioni diretta e inversa sono grandezze alternative sinu-

componenti della tensione applicata, tali debbano risultare (e con la medesima pulsazione  $s\omega$ ) anche le componenti assiali della corrente e del flusso, nonché tutte le correnti e i flussi rotorici (1). È pertanto lecito trascrivere le suddette equazioni, introducendo il metodo simbolico.

Le equazioni del 5° gruppo diventano:

$$(5) \quad \Phi_d = -m_d \mathbf{i}_d + M_{ah} \mathbf{I}_h + M_{a1d} \mathbf{I}_{1d} + M_{a2d} \mathbf{I}_{2d} + \dots$$

$$(6) \quad \Phi_h = -M_{ha} \mathbf{i}_d + M_{hh} \mathbf{I}_h + M_{h1d} \mathbf{I}_{1d} + M_{h2d} \mathbf{I}_{2d} + \dots$$

$$(7) \quad \Phi_{id} = -M_{ida} \mathbf{i}_d + M_{idh} \mathbf{I}_h + M_{id1d} \mathbf{I}_{1d} + M_{id2d} \mathbf{I}_{2d} + \dots \quad (i = 1, 2 \dots n)$$

$$(8) \quad \Phi_t = -m_t \mathbf{i}_t + M_{a1t} \mathbf{I}_{1t} + M_{a2t} \mathbf{I}_{2t} + \dots$$

$$(9) \quad \Phi_{it} = -M_{ita} \mathbf{i}_t + M_{it1t} \mathbf{I}_{1t} + M_{it2t} \mathbf{I}_{2t} + \dots \quad (i = 1, 2 \dots n)$$

Naturalmente la (7) e la (9) stanno a indicare, ciascuno, un complesso di  $n$  equazioni.

Dalle equazioni del 6° gruppo, relative ai circuiti rotorici si ha:

$$(10) \quad 0 = j s \omega \Phi_h + R_h \mathbf{I}_h$$

$$(11) \quad 0 = j s \omega \Phi_{id} + R_{id1d} \mathbf{I}_{1d} + R_{id2d} \mathbf{I}_{2d} + \dots$$

$$(12) \quad 0 = j s \omega \Phi_{it} + R_{it1t} \mathbf{I}_{1t} + R_{it2t} \mathbf{I}_{2t} + \dots$$

$$(i = 1, 2 \dots n)$$

Eliminando i flussi  $\Phi_h$  e  $\Phi_{id}$  fra le (6) (7) e le (10) (11), si ha il seguente sistema, le cui incognite sono i rapporti fra le varie correnti e la  $\mathbf{i}_d$ :

$$(13) \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{I} = \left( \frac{X_{hh}}{X_{ha}} - j \frac{R_h}{s X_{ha}} \right) \frac{\mathbf{I}_h}{\mathbf{i}_d} + \left( \frac{X_{h1d}}{X_{ha}} - j 0 \right) \frac{\mathbf{I}_{1d}}{\mathbf{i}_d} + \left( \frac{X_{h2d}}{X_{ha}} - j 0 \right) \frac{\mathbf{I}_{2d}}{\mathbf{i}_d} + \dots + \\ \quad + \left( \frac{X_{hnd}}{X_{ha}} - j 0 \right) \frac{\mathbf{I}_{nd}}{\mathbf{i}_d} \\ \mathbf{I} = \left( \frac{X_{1d h}}{X_{1d a}} - j 0 \right) \frac{\mathbf{I}_h}{\mathbf{i}_d} + \left( \frac{X_{1d 1d}}{X_{1d a}} - j \frac{R_{1d 1d}}{s X_{1d a}} \right) \frac{\mathbf{I}_{1d}}{\mathbf{i}_d} + \left( \frac{X_{1d 2d}}{X_{1d a}} - j \frac{R_{1d 2d}}{s X_{1d a}} \right) \frac{\mathbf{I}_{2d}}{\mathbf{i}_d} + \dots + \\ \quad + \left( \frac{X_{1d nd}}{X_{1d a}} - j \frac{R_{1d nd}}{s X_{1d a}} \right) \frac{\mathbf{I}_{nd}}{\mathbf{i}_d} \\ \mathbf{I} = \left( \frac{X_{2d h}}{X_{2d a}} - j 0 \right) \frac{\mathbf{I}_h}{\mathbf{i}_d} + \left( \frac{X_{2d 1d}}{X_{2d a}} - j \frac{R_{2d 1d}}{s X_{2d a}} \right) \frac{\mathbf{I}_{1d}}{\mathbf{i}_d} + \left( \frac{X_{2d 2d}}{X_{2d a}} - j \frac{R_{2d 2d}}{s X_{2d a}} \right) \frac{\mathbf{I}_{2d}}{\mathbf{i}_d} + \dots + \\ \quad + \left( \frac{X_{2d nd}}{X_{2d a}} - j \frac{R_{2d nd}}{s X_{2d a}} \right) \frac{\mathbf{I}_{nd}}{\mathbf{i}_d} \\ \dots \dots \dots \\ \mathbf{I} = \left( \frac{X_{nd h}}{X_{nd a}} - j 0 \right) \frac{\mathbf{I}_h}{\mathbf{i}_d} + \left( \frac{X_{nd 1d}}{X_{nd a}} - j \frac{R_{nd 1d}}{s X_{nd a}} \right) \frac{\mathbf{I}_{1d}}{\mathbf{i}_d} + \left( \frac{X_{nd 2d}}{X_{nd a}} - j \frac{R_{nd 2d}}{s X_{nd a}} \right) \frac{\mathbf{I}_{2d}}{\mathbf{i}_d} + \dots + \\ \quad + \left( \frac{X_{nd nd}}{X_{nd a}} - j \frac{R_{nd nd}}{s X_{nd a}} \right) \frac{\mathbf{I}_{nd}}{\mathbf{i}_d} \end{array} \right.$$

soidali in pulsazione  $s\omega$ . Ciò premesso, appare evidente (considerando le equazioni generali di App. relative al 5° e 6° gruppo) che, essendo alternative sinusoidali le

(1) Naturalmente non è detto che siano sinusoidali le correnti e i flussi relativi alle fasi statoriche.



Si osservi che in luogo dei coefficienti di auto e mutua induzione, si sono introdotte le reattanze  $X$  corrispondenti alla pulsazione  $\omega$ .

Analogamente, eliminando i flussi  $\Phi_{it}$  fra le (9) e le (12,) si ottiene:

$$(14) \quad \begin{cases} \mathbf{I} = \left( \frac{X_{1t1t}}{X_{1ta}} - j \frac{R_{1t1t}}{s X_{1ta}} \right) \frac{\mathbf{I}_{1t}}{\mathbf{i}_t} + \left( \frac{X_{1t2t}}{X_{1ta}} - j \frac{R_{1t2t}}{s X_{1ta}} \right) \frac{\mathbf{I}_{2t}}{\mathbf{i}_t} + \dots + \left( \frac{X_{1tnnt}}{X_{1ta}} - j \frac{R_{1tnnt}}{s X_{1ta}} \right) \frac{\mathbf{I}_{nt}}{\mathbf{i}_t} \\ \mathbf{I} = \left( \frac{X_{2t1t}}{X_{2ta}} - j \frac{R_{2t1t}}{s X_{2ta}} \right) \frac{\mathbf{I}_{1t}}{\mathbf{i}_t} + \left( \frac{X_{2t2t}}{X_{2ta}} - j \frac{R_{2t2t}}{s X_{2ta}} \right) \frac{\mathbf{I}_{2t}}{\mathbf{i}_t} + \dots + \left( \frac{X_{2tnnt}}{X_{2ta}} - j \frac{R_{2tnnt}}{s X_{2ta}} \right) \frac{\mathbf{I}_{nt}}{\mathbf{i}_t} \\ \dots \\ \mathbf{I} = \left( \frac{X_{nt1t}}{X_{nta}} - j \frac{R_{nt1t}}{s X_{nta}} \right) \frac{\mathbf{I}_{1t}}{\mathbf{i}_t} + \left( \frac{X_{nt2t}}{X_{nta}} - j \frac{R_{nt2t}}{s X_{nta}} \right) \frac{\mathbf{I}_{2t}}{\mathbf{i}_t} + \dots + \left( \frac{X_{ntnnt}}{X_{nta}} - j \frac{R_{ntnnt}}{s X_{nta}} \right) \frac{\mathbf{I}_{nt}}{\mathbf{i}_t} \end{cases}$$

Le soluzioni dei 2 sistemi (13) e (14) possono essere sostituite rispettivamente nelle equazioni (5) e (8), dalle quali si ricavano le due grandezze  $\mathbf{m}_d$  e  $\mathbf{m}_t$ , così definite:

$$(15) \quad \mathbf{m}_d = - \frac{\Phi_d}{\mathbf{i}_d}$$

$$(16) \quad \mathbf{m}_t = - \frac{\Phi_t}{\mathbf{i}_t}$$

si ottiene in definitiva:

$$(17) \quad \mathbf{m}_d = m_d \left( \mathbf{I} + \frac{X_f}{x_d} - \frac{X_{ah}}{x_d} \frac{\mathbf{I}_h}{\mathbf{i}_d} - \sum_i^n \frac{X_{aid}}{x_d} \frac{\mathbf{I}_{id}}{\mathbf{i}_d} \right)$$

$$(18) \quad \mathbf{m}_t = m_t \left( \mathbf{I} + \frac{X_f}{x_t} - \sum_i^n \frac{X_{ait}}{x_t} \frac{\mathbf{I}_{it}}{\mathbf{i}_t} \right)$$

Le relazioni, fin qui scritte, consentono di ricavare flussi e correnti, supposte note le componenti diretta e trasversa delle correnti statoriche. Per il calcolo di quest'ultime occorre far uso delle equazioni (20 A), anch'esse trascritte col metodo simbolico. Osserviamo innanzitutto che  $\mathbf{v}_d$  e  $\mathbf{v}_t$  risultano in quadratura [il che si prova con un ragionamento analogo a quello che conduce alla (14)<sup>IV</sup> A]]. Possiamo quindi porre:

$$(19) \quad \mathbf{v}_d = j v_m$$

$$(20) \quad \mathbf{v}_t = v_m$$

Sostituendo (19) e (20) in (20 A) si ha:

$$(21) \quad \begin{cases} j v_m = j s \omega \Phi_d - (\mathbf{I} - s) \omega \Phi_t - r \mathbf{i}_d \\ v_m = j s \omega \Phi_t + (\mathbf{I} - s) \omega \Phi_d - r \mathbf{i}_t \end{cases}$$

Eliminiamo i flussi fra le (15) e (16) e le (21), dopo aver posto:

$$(22) \quad \mathbf{X}_d = \omega \mathbf{m}_d$$

$$(23) \quad \mathbf{X}_t = \omega \mathbf{m}_t$$

$\mathbf{X}_d$  e  $\mathbf{X}_t$  sono chiamate rispettivamente reattanza operativa diretta e trasversa della macchina. Le (21) diventano:

$$(24) \quad \begin{cases} -j v_m = (r + j s \mathbf{X}_d) \mathbf{i}_d - (\mathbf{I} - s) \mathbf{X}_t \mathbf{i}_t \\ -v_m = (\mathbf{I} - s) \mathbf{X}_d \mathbf{i}_d + (r + j s \mathbf{X}_t) \mathbf{i}_t \end{cases}$$

Dalle (24) si ricavano infine i valori  $\mathbf{i}_d$  e  $\mathbf{i}_t$ :

$$(25) \quad \mathbf{i}_d = \frac{j v_m [-r + j \mathbf{X}_t (\mathbf{I} - 2s)]}{r^2 + (\mathbf{I} - 2s) \mathbf{X}_d \mathbf{X}_t + j s r (\mathbf{X}_d + \mathbf{X}_t)}$$

$$(26) \quad \mathbf{i}_t = \frac{v_m [-r - j \mathbf{X}_d (\mathbf{I} - 2s)]}{r^2 + (\mathbf{I} - 2s) \mathbf{X}_d \mathbf{X}_t + j s r (\mathbf{X}_d + \mathbf{X}_t)}$$

Possiamo ora procedere al calcolo della coppia.

Per quanto si è visto in appendice (A - 2) la coppia media  $C_m$  è esprimibile nel modo seguente:

$$(27) \quad C_m = \frac{P}{2} (\mathbf{i}_t \times \Phi_d - \mathbf{i}_d \times \Phi_t)$$

Le formule ricavate in questo paragrafo consentono la determinazione di tutte quelle grandezze che hanno interesse nello studio in questione.

Per procedere al calcolo numerico effettivo è necessario però eseguire, per prima cosa, il calcolo dei coefficienti che figurano nei sistemi (13) e (14), e nelle equazioni (17) e (18) che costituiscono il punto di partenza del programma della calcolatrice numerica. Di tale calcolo ci occuperemo nei prossimi paragrafi.

#### 4. - CALCOLO DELLE REATTANZE.

Le ipotesi di calcolo, che aggiungeremo in questo paragrafo a quelle fondamentali già enunciate, consistono essenzialmente nel considerare trascurabili le amperspire assorbite nel ferro e gli effetti sulla distribuzione del campo al traferro dovuti alla presenza della dentatura di statore e di rotore.

La tecnica di calcolo, praticamente sempre la stessa, salvo lievi varianti, che preciseremo caso per caso, si articola sui seguenti passaggi:

a) espressione del campo di induzione al traferro (o eventualmente della sua prima armonica) che interviene nel calcolo del parametro in esame;

b) valutazione del flusso prodotto dal campo suddetto e concatenato con l'avvolgimento di cui si calcola il coefficiente di reattanza, dopo di che il procedimento si conclude in maniera più che ovvia.

Le difficoltà di calcolo sono connesse al grado di accuratezza che si desidera nella determinazione del campo al traferro. Per calcoli più precisi si può ricorrere ai noti metodi analitici o grafici di tracciamento dei campi. Si ritiene però che, nella maggior parte dei casi, le normali ipotesi semplificative, riportate nei testi di calcolo delle macchine elettriche, conducano a risultati sufficientemente approssimati.

Calcolo di  $x_d$ .

Consideriamo il caso particolare in cui il rotore, privo di eccitazione, ruoti al sincronismo in modo tale che nell'istante in cui  $\mathbf{i}_d$  è massima (istante che assumiamo come



iniziale) l'asse  $d$  coincida con l'asse  $a$  (v. fig. 1). Si ha in tal caso:

$$\begin{aligned} \text{per } t = 0 \quad i_a = I_M \quad \Theta_0 = 0 \quad \text{e quindi} \\ i_d = I_M \quad i_t = 0 \quad \Phi_d = \Phi_{aM} \\ (28) \quad x_d = \omega m_d = \omega \frac{\Phi_{aM}}{i_d} = \omega \frac{\Phi_{aM}}{I_M} \end{aligned}$$

La (28) suggerisce un comodo metodo di calcolo, che pur effettuandosi in un caso particolare, non introduce limitazioni, essendo  $x_d$  (per una data  $\omega$ ) un parametro intrinseco della macchina. Il flusso  $\Phi_a$  è prodotto dal campo rotante dovuto alle 3 fasi statoriche. Per  $t = 0$  la distribuzione di tale campo lungo la periferia dell'indotto è espressa da:

$$(29) \quad B_d(x) = \frac{3}{2} \frac{2}{\pi} k_a \frac{N}{2p} I_M \frac{\mu_0}{\delta(x)} \sin \pi \frac{x}{\tau}$$

ove  $\delta(x)$  indica lo spessore del traferro, variabile da punto a punto. Posto

$$(30) \quad \delta_r(x) = \frac{\delta(x)}{\delta_0}$$

$$(31) \quad B_{d0} = \frac{3}{2} \frac{2}{\pi} k_a \frac{N}{2p} I_M \frac{\mu_0}{\delta_0}$$

$$(32) \quad f_d(x) = \frac{\sin \pi \frac{x}{\tau}}{\delta_r(x)}$$

ove  $\delta_0$  e  $B_{d0}$  sono rispettivamente il traferro minimo e il corrispondente valore dell'induzione, mentre  $f_d$  è una funzione che dipende essenzialmente dal tipo di profilo adottato per le espansioni polari. Date le ipotesi fondamentali, il flusso  $\Phi_{aM}$  si valuta considerando la sola prima armonica  $B_{d1}(x)$  del campo al traferro, che è espressa da:

$$(33) \quad B_{d1}(x) = B_{d0} f_{d1} \sin \pi \frac{x}{\tau}$$

Per  $\Phi_{aM}$  si ha quindi:

$$(34) \quad \Phi_{aM} = 2p \int_0^\tau n_c d\varphi$$

$n_c$  rappresenta il numero dei conduttori concatenati con l'elemento generico di flusso  $d\varphi$ . Esso vale, tenuto conto della (1)

$$(35) \quad n_c(x) = \int_0^x n(x) dx = \frac{n_M \tau}{\pi} \sin \pi \frac{x}{\tau}$$

mentre

$$(36) \quad d\varphi = B_{d1}(x) l dx$$

Sostituendo (35) e (36) in (34) ed eseguendo l'integrazione si ha infine, tenendo anche conto delle varie posizioni fatte:

$$(37) \quad x_d = \omega \frac{3}{16} \frac{N_e^2}{2p} f_{d1} \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0}$$

Calcolo di  $x_t$ .

In modo perfettamente analogo a quello appena trattato, si può procedere al calcolo di  $x_t$ . Naturalmente sarà opportuno riferirsi questa volta al caso in cui per  $t = 0$  si abbia  $i_a = I_M$  e  $\Theta_0 = -\pi/2$ .

A conti fatti si trova:

$$(38) \quad x_t = \omega \frac{3}{16} \frac{N_e^2}{2p} f_{t1} \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0}$$

ove  $f_{t1}$  è l'ampiezza della 1<sup>a</sup> armonica della funzione

$$(39) \quad f_t(x) = \frac{\cos \pi \frac{x}{\tau}}{\delta_r(x)}$$

Calcolo di  $X_{ah}$ .

Il campo di 1<sup>a</sup> armonica, generato al traferro dalla corrente di eccitazione, è espresso da (fig. 1):

$$(40) \quad B_{h1}(x) = B_{h0} f_{h1} \sin \pi \frac{x}{\tau}$$

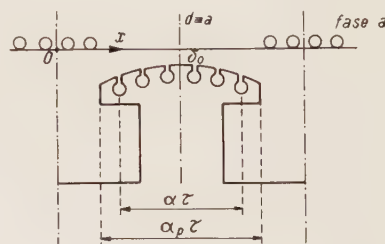


Fig. 1.

ove  $B_{h0}$  è il campo effettivo in corrispondenza del traferro minimo e  $f_{h1}$  è l'ampiezza della 1<sup>a</sup> armonica della funzione:

$$(41) \quad f_h(x) = \frac{1}{\delta_r(x)}$$

Procedendo in modo analogo ai casi precedenti e ponendosi per comodità nel caso in cui  $\Theta = 0$ , è immediato calcolare  $\Phi_{ah}$  e quindi [tenendo conto del fattore  $3/2$  (App. 5° gruppo di equazioni)]  $X_{ah}$ , si ottiene:

$$(42) \quad X_{ah} = \omega \frac{3}{8} \frac{N_e N_h}{2p} f_{h1} \frac{\tau}{\delta_0} \mu_0 l$$

Calcolo di  $X_{hh}$ .

Il campo che interessa in questo caso è ancora quello espresso dalla (40) <sup>(2)</sup> e l'unica variante, rispetto al caso precedente, sta nel fatto che l'avvolgimento con cui si concatena il flusso è quello stesso di eccitazione.

Con semplici passaggi, si ottiene:

$$(43) \quad X_{hh} = \omega \frac{3}{\pi} \frac{N_h^2}{2p} f_{h1} \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0} (1 + \sigma)$$

Nella (43) si tiene conto anche dei flussi dispersi tramite il coefficiente di dispersione  $\sigma$ , che può calcolarsi secondo i metodi consueti riportati nei testi di calcolo delle macchine elettriche.

Calcolo di  $X_{ad}$ .

Tenuto conto del fatto che le sbarre si trovano solo nella regione occupata dal polo, conviene fare l'ipotesi (aderente alla realtà nella maggior parte dei casi) che il campo al traferro, generato dalla corrente  $i_{id}$  della ma-

(2) Più rigorosamente, in questo caso, sarebbe opportuno valutare anche il contributo delle armoniche superiori. Tale contributo è tuttavia spesso trascurabile se si pensa che, almeno sotto il polo, il campo è di regola praticamente sinusoidale.



glia diretta  $i$ -ma dello smorzatore, abbia andamento sinusoidale per  $-x_i \leq x \leq x_i$  (fig. 2) e sia nullo al di fuori di tale regione. Con tale ipotesi il flusso  $\Phi_{aid}$  si esprime:

$$(44) \quad \Phi_{aid} = 4 p \int_0^{x_i} n_c(x) B_{id}(x) l dx$$

con

$$(45) \quad n_c(x) = \frac{n_M \tau}{\pi} \cos \pi \frac{x}{\tau}$$

e

$$(46) \quad B_{id}(x) = i_{id} \frac{\mu_0}{\delta_0} \cos \pi \frac{x}{\tau}$$

Osservando che

$$(47) \quad x_i = \frac{\alpha \tau}{2n} \left( i - \frac{1}{2} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

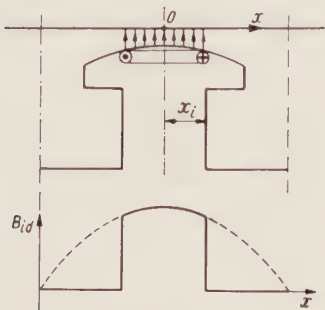


Fig. 2.

Sostituendo (45) (46) e (47) in (44) è facile calcolare, eseguendo l'integrazione,  $\Phi_{aid}$  e quindi  $X_{aid}$ . Si ottiene:

$$(48) \quad X_{aid} = \omega \frac{3}{8\pi} \left[ \pi \frac{\alpha}{n} \left( i - \frac{1}{2} \right) + \sin \pi \frac{\alpha}{n} \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] N_e \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Calcolo di  $X_{hid}$ .

Il calcolo è perfettamente analogo al precedente, salvo la sostituzione della (45) con

$$(49) \quad n_c = \frac{N_h}{2p}$$

Si ottiene in definitiva

$$(50) \quad X_{hid} = \omega \frac{3}{\pi} \sin \frac{\pi \alpha}{2n} \left( i - \frac{1}{2} \right) N_h \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0}$$

Calcolo di  $X_{ait}$ .

Convien anche in questo caso supporre sinusoidale la distribuzione del campo, generato da  $i_{it}$  per  $x_i \leq x \leq \frac{\alpha_p \tau}{2}$  e per  $\tau \left( 1 - \frac{\alpha_p}{2} \right) \leq x \leq (\tau - x_i)$  (v. fig. 3) e nullo il campo nelle rimanenti regioni. Si ha allora:

$$(51) \quad \Phi_{ait} = 4 p \int_{x_i}^{\frac{\alpha_p \tau}{2}} n_c(x) B_{it}(x) l dx$$

con  $n_c$  espresso dalla (35) ed inoltre

$$(52) \quad B_{it}(x) = \frac{i_{it}}{\delta_0} \mu_0 \cos \pi \frac{x}{\tau}$$

Procedendo in modo analogo a quello relativo al calcolo di  $X_{aid}$ , si ottiene:

$$(53) \quad X_{ait} = \omega \frac{3}{8\pi} \left[ \cos \frac{\pi \alpha}{n} \left( i - \frac{1}{2} \right) - \cos \pi \alpha_p \right] \cdot N_e \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0}$$

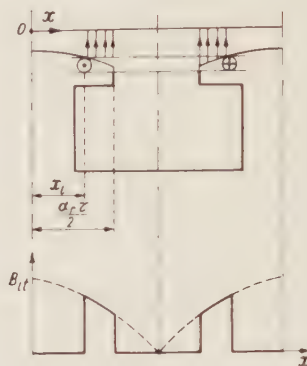


Fig. 3.

Calcolo di  $X_{kd}$ .

Supposto per ora  $k > i$  (fig. 4), il campo al traferro che interviene nella determinazione di questo coefficiente è ancora quello espresso dalla (46). Volendo tener conto anche dei flussi dispersi relativi alle porzioni di anello co-

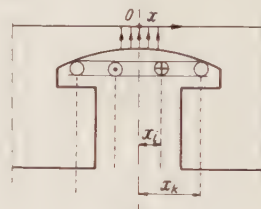


Fig. 4.

muni alle 2 maglie, possiamo introdurre il coefficiente  $\lambda_a$  (permeanza riferita all'unità di lunghezza della coppia di anelli frontali). Si ha quindi:

$$(54) \quad \Phi_{kd id} = 4 p \int_0^{x_i} \mu_0 \frac{i_{id}}{\delta_0} \cos \pi \frac{x}{\tau} l dx + 2 p \cdot 2 x_i \lambda_a i_{id}$$

da cui facilmente si ricava, sempre per  $k > i$ :

$$(55) \quad X_{kd id} = \omega \left[ \frac{3}{\pi} 2 p \sin \frac{\pi \alpha}{2n} \left( i - \frac{1}{2} \right) \cdot \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0} + 3 p \frac{\alpha \tau}{n} \lambda_a \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]$$

Nella (55) si può togliere la limitazione di  $k > i$ , introducendo il simbolo  $(k \downarrow i)$  che sta a indicare che dei due simboli  $k$  e  $i$  si deve assumere il minore. Si ha così:



$$(56) \quad X_{kad} = \omega \left\{ \frac{3}{\pi} 2 p \operatorname{sen} \frac{\pi \alpha}{2 n} \left[ \left( k \downarrow i \right) - \frac{1}{2} \right] \cdot \right. \\ \left. \cdot \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0} + 3 p \frac{\alpha \tau}{n} \lambda_a \left[ \left( k \downarrow i \right) - \frac{1}{2} \right] \right\}$$

Calcolo di  $X_{id id}$ .

Si può senz'altro usare la (55), aggiungendo un termine che tenga conto dei flussi dispersi in corrispondenza delle sbarre. A tal fine si introduce il parametro  $\lambda_a$  (permeanza riferita all'unità di lunghezza assiale del rotore). Si ha quindi:

$$(57) \quad X_{id id} = \omega \left[ \frac{6}{\pi} p \operatorname{sen} \frac{\pi \alpha}{2 n} \left( i - \frac{1}{2} \right) \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0} + \right. \\ \left. + 3 p \frac{\alpha \tau}{n} \lambda_a \left( i - \frac{1}{2} \right) + 6 p l \lambda_c \right]$$

Calcolo di  $X_{kt it}$ .

Riferendoci alla fig. 5 e supponendo, per ora,  $i > k$ , si osserva che il campo al traferro che interviene, in questo

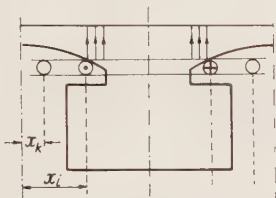


Fig. 5.

caso, nel calcolo del coefficiente è quello espresso dalla (52). Pertanto si ha:

$$(58) \quad \Phi_{kt it} = 4 p \int_{x_i}^{\frac{\alpha_p \tau}{2}} \mu_0 \frac{i_{it}}{\delta_0} \cos \pi \frac{x}{\tau} l dx + \\ + 4 p \left( \frac{\alpha_p \tau}{2} - x_i \right) \lambda_a$$

ove si è anche tenuto conto della dispersione, analogamente a quanto si è fatto nei precedenti casi <sup>(3)</sup>. Con semplici passaggi e introducendo il simbolo  $(i \uparrow k)$  (dei 2 simboli si deve assumere il maggiore) per togliere la limitazione iniziale, si ha:

$$(59) \quad X_{kt it} = \omega \frac{6 p}{\pi} \left[ \operatorname{sen} \frac{\pi \alpha_p}{2} - \operatorname{sen} \frac{\pi \alpha}{2 n} \left( i \uparrow k - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \\ \cdot \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0} + \omega 6 p \left[ \frac{\alpha_p \tau}{2} - \frac{\alpha \tau}{2 n} \left( i \uparrow k - \frac{1}{2} \right) \right] \lambda_a$$

Calcolo di  $X_{it it}$ .

La (59) si adatta al calcolo di  $X_{it it}$ , ponendo  $i = k$  e aggiungendo la dispersione alle sbarre:

$$(60) \quad X_{it it} = \omega \frac{6 p}{\pi} \left[ \operatorname{sen} \frac{\pi \alpha_p}{2} - \operatorname{sen} \frac{\pi \alpha}{2 n} \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \\ \cdot \mu_0 l \frac{\tau}{\delta_0} + \omega 6 p \left[ \frac{\alpha_p \tau}{2} - \frac{\alpha \tau}{2 n} \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] + 6 p \omega l \lambda_c$$

<sup>(3)</sup> Si è però trascurata la dispersione corrispondente alla zona interpolare.

## 5. - CALCOLO DELLE RESISTENZE.

Calcolo di  $R_{id id}$ .

$R_{id id}$  è proporzionale, a meno del fattore  $3p$ , alla somma delle resistenze di 2 sbarre e delle 2 porzioni di anello che le collegano. Si ha quindi:

$$(61) \quad R_{id id} = 6 p \left( \varrho \frac{l}{S} + 2 \varrho \frac{x_i}{S_a} \right)$$

ossia

$$(62) \quad R_{id id} = 6 p \varrho \frac{l}{S} \left[ 1 + \frac{S}{S_a} \frac{\alpha \tau}{n l} \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]$$

Calcolo di  $R_{id kd}$ .

La resistenza mutua di 2 maglie è soltanto quella corrispondente alle porzioni di anello comuni alle maglie stesse. Si ha pertanto:

$$(63) \quad R_{id kd} = 6 p \varrho \frac{l}{S_a} \frac{\alpha}{n} \frac{\tau}{l} \left[ \left( i \downarrow k \right) - \frac{1}{2} \right]$$

Calcolo di  $R_{it it}$ .

Il calcolo delle resistenze, relative alle maglie trasverse, si conduce in maniera perfettamente analoga a quella dei casi precedenti.

Ci limitiamo pertanto a trascrivere i risultati finali:

$$(64) \quad R_{it it} = 6 p \varrho \frac{l}{S} \left[ 1 + \frac{S}{S_a} \frac{\tau}{l} \left( 1 - \frac{i}{n} + \frac{\alpha}{2 n} \right) \right]$$

Calcolo di  $R_{it kt}$ .

In maniera perfettamente analoga al calcolo di  $R_{id kd}$  si ottiene:

$$(65) \quad R_{it kt} = 6 p \varrho \frac{l}{S_a} \frac{\tau}{l} \left[ 1 - \frac{(i \uparrow k)}{n} + \frac{\alpha}{2 n} \right]$$

## 6. - ESEMPIO NUMERICO.

Come applicazione di quanto è stato esposto nei precedenti paragrafi, consideriamo lo stesso motore già preso in esame nella nota citata [1]. Si tratta di un motore sincrono trifase avente le seguenti caratteristiche:

potenza . . . . .	200 HP
tensione . . . . .	440 V
n. giri . . . . .	900'
n. di poli . . . . .	8
frequenza . . . . .	60 per/sec

Il progetto completo di questo motore è svolto nel trattato di Kulmann [2], al quale ci riferiamo per l'assunzione di tutti i dati che sono necessari per lo sviluppo del calcolo. In particolare nel nostro caso i dati di maggior interesse, riportati o comunque facilmente deducibili dal testo suddetto, sono:

$N_e = 118$	$\frac{l}{\tau} = 0,715$
$N_h = 342$	$\alpha = 2/3$
$\frac{2 p}{\tau} = 0,25 m$	$\alpha_p = 0,7$
$\frac{\delta_0}{\tau} = 0,025$	$X_f = 0,118 \Omega$
$r = 0,022 \Omega$	$r_h = 6,21 \Omega$

Tenendo presenti i suddetti valori si sono lasciati variabili i parametri  $n$  e  $\varepsilon$  che rappresentano rispettivamente il numero di sbarre della gabbia per semipolo e il rapporto fra la sezione di rame della gabbia smorzatrice e la sezione complessiva del rame di statore.

Il calcolo è stato eseguito con la calcolatrice numerica della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna ed



è stato programmato secondo la seguente successione logica:

- 1) calcolo dei vari coefficienti di reattanza e di resistenza secondo le formule ricavate ai paragrafi 4 e 5;
- 2) risoluzione dei sistemi di equazioni (13) e (14);
- 3) calcolo di  $X_d$  e  $X_t$  tramite le (17), (18), (22) e (23);
- 4) calcolo delle correnti diretta e trasversa con le (25) e (26) e calcolo delle correnti statoriche con le formule di antitrasformazione;
- 5) calcolo dei flussi  $\Phi_d$  e  $\Phi_t$  con le (15) e (16);
- 6) calcolo della coppia  $C$  con la (27);
- 7) calcolo delle varie correnti rotoriche inserendo i valori ottenuti per  $i_d$  e  $i_t$  nelle soluzioni dei sistemi (13) e (14).

I risultati del calcolo sono riassunti nei diagrammi delle figg. 6, 7, 8, 9 e 10.

Tutte le curve riportate nelle suddette figure si riferiscono al caso in cui l'avvolgimento di eccitazione sia chiuso su una resistenza addizionale nove volte superiore alla propria.

La fig. 6 mostra l'andamento della coppia (riferita adimensionalmente alla coppia nominale del motore) in funzione dello scorrimento. Le tre curve tracciate si riferi-

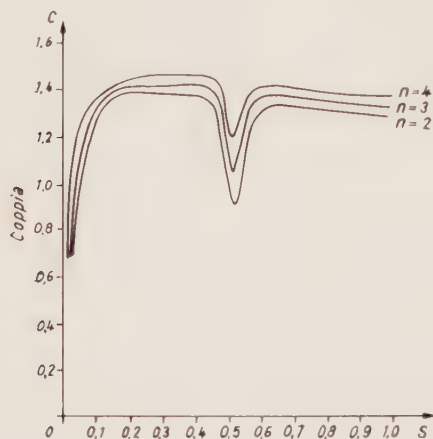


Fig. 6.

scono a un numero diverso di sbarre per semipolo mantenendo però costante la sezione utile di rame della gabbia. Si notino gli avvallamenti di tali curve in prossimità del valore 0,5 dello scorrimento. Essi risultano assai più marcati che nella trattazione svolta con il metodo della lamina equivalente. Si noti infatti che l'influenza del numero delle sbarre per polo si fa sentire soprattutto sull'ampiezza dell'avvallamento suddetto, che tende a diminuire al crescere di  $n$  e quindi avvicinandosi al caso teorico della lamina.

In fig. 7 è mostrata l'influenza del parametro  $\varepsilon$ . Si noti che al crescere della sezione utile della gabbia si ha una riduzione della depressione nella parte centrale.

La fig. 8 mostra l'andamento della corrente in una fase statorica (nel caso di  $n = 3, m = 0,3$ ). Essa consta di due componenti l'una (curva a) in frequenza fondamentale  $f$ , l'altra (curva b) in frequenza  $(1 - 2s)f$ , entrambe espresse adimensionalmente rispetto alla corrente nominale.

La fig. 9 mostra l'analogo andamento della corrente nel circuito di eccitazione (riferito al proprio valore nominale) in funzione dello scorrimento con gli stessi dati precedenti.

Infine le figg. 10 mostrano, nel caso di 6 sbarre per polo, le correnti di ciascuna sbarra  $I_{st}$ , ottenibili con le relazioni del tipo:

$$(68) \quad I_{st} = I_{td} \pm I_{tt}$$

ove il segno meno deve assumersi per le sbarre anteriori (nel senso del moto) e il più per quelle posteriori (v. figura A-1) che pertanto risulteranno più sovraccaricate.

I valori di queste correnti sono espressi adimensionalmente, assumendo come corrente base:

$$I_{s0} = \frac{3}{8} \frac{N_e}{p n} I_{a0} = 771 \text{ A}$$

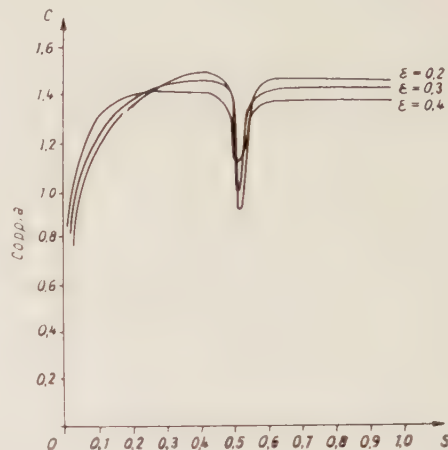


Fig. 7.

Tale valore è stato assunto identico a quello dell'articolo in cui si espone il metodo della lamina equivalente, per permettere eventuali confronti.

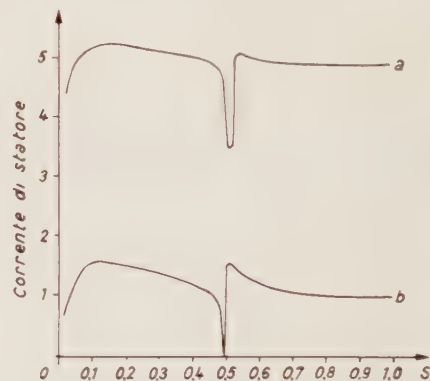


Fig. 8.

In conclusione i risultati ottenuti con l'indagine numerica svolta sono in buon accordo con i risultati ottenuti per altra via, relativi ai vari articoli citati in bibliografia.

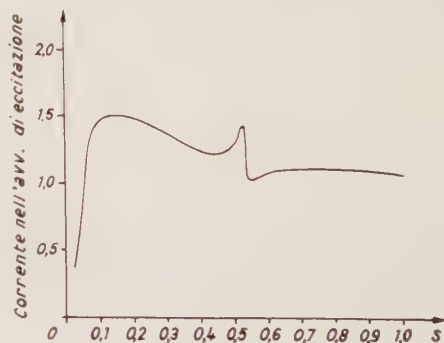


Fig. 9.

fia. Anche con il metodo della lamina equivalente l'accordo è soddisfacente, sia come andamento delle curve sia come valori delle varie grandezze, quasi ovunque, sal-



vo che nella zona degli avvallamenti sopra citati. In tale zona le curve tracciate con l'ipotesi della lamina presentano infatti avvallamenti assai modesti, quando addirittura non risultino nulli come nel caso della corrente di

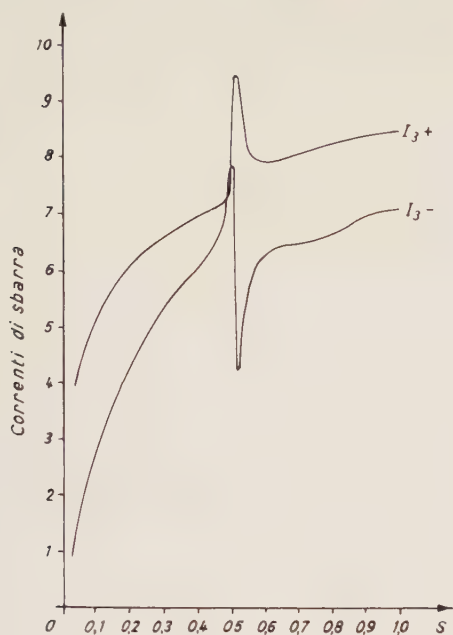


Fig. 10 a

statore in frequenza fondamentale [1]. L'accordo naturalmente migliora, come già si è detto, al crescere del numero delle sbarre per polo (si ritiene, estrapolando i risultati ottenuti, che per valori di  $n$  maggiori di 4 o 5 l'i-

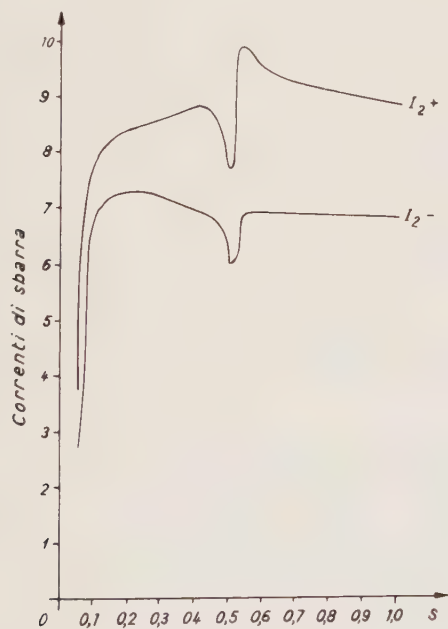


Fig. 10 b

potesi della lamina possa considerarsi pienamente soddisfacente). Per valori di  $n$  modesti, come quelli trattati nell'esempio numerico, il metodo seguito offre maggiori garanzie di calcolo sufficientemente approssimato anche nella regione prossima a  $s=0,5$ , che presenta ovviamente molta importanza, potendosi in tale zona verificare degli impuntamenti quando le diminuzioni della coppia siano eccessive.

L'Autore desidera ringraziare il prof. ing. Stefano Basile, Direttore dell'Istituto di Elettrotecnica dell'Università di Bologna, per i consigli ricevuti e il dr. ing. Remo

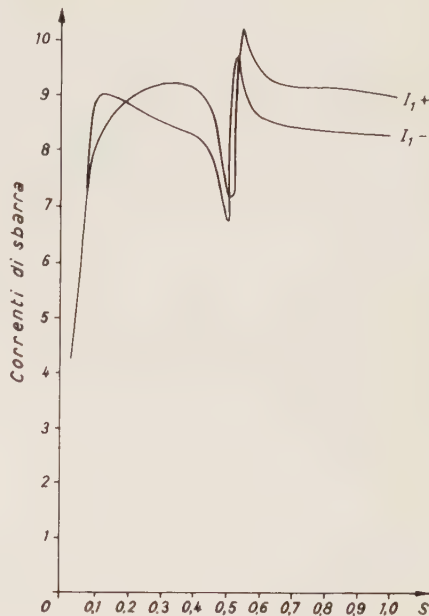


Fig. 10 c

Rossi del Centro Calcoli della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna per lo svolgimento dei calcoli relativi alla presente nota.

## APPENDICE

### A-1. - SINTESI DELLA TEORIA DELLA DOPPIA REAZIONE DI PARK.

Le ipotesi della teoria di Park sono state richiamate nel testo. Ad esse faremo riferimento nel seguito.

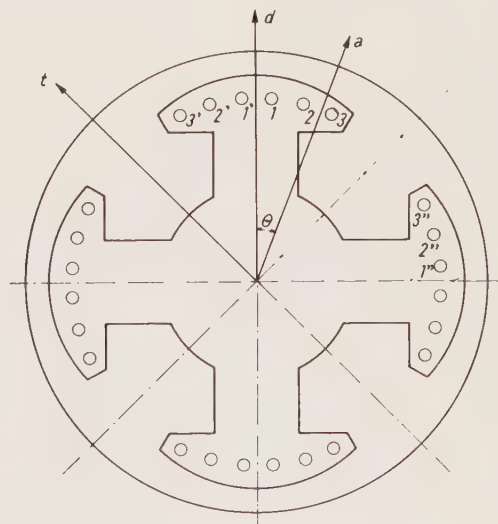


Fig. A-1 a

Nella fig. A-1a è schematicamente rappresentata una macchina sincrona a 4 poli (4). In essa sono indicate le

(4) Quanto si esporrà nel seguito vale però per un qualsiasi numero di poli.



sbarre della gabbia smorzatrice, collegate fra loro tramite anelli frontali. Gli assi  $d$  e  $t$ , coincidenti con l'asse polare e l'asse interpolare, prendono il nome di asse diretto e asse trasverso, l'asse  $a$  coincide con l'asse della prima fase statorica.

Nella gabbia smorzatrice distingueremo due diversi tipi di circuiti e precisamente:

*maglie dirette*, costituite da due sbarre simmetriche rispetto a un asse diretto e dalle porzioni di anello che le collegano. Tali maglie vengono contraddistinte con lo stesso numero d'ordine delle sbarre, ad esempio la maglia diretta  $1d$  è formata dalle sbarre  $1$  e  $1'$ , la  $2d$  dalle sbarre  $2$  e  $2'$ , ecc.;

*maglie trasverse*, costituite da due sbarre simmetriche rispetto a un asse trasverso e dalle porzioni di anello che le collegano. Si indicano in modo analogo a quello visto, ad esempio la maglia  $1t$  è formata dalle sbarre  $1$  e  $1''$  ecc.

La fig. A-1 b mostra schematicamente la vista frontale di una coppia di poli e dei relativi circuiti smorzatori, suddivisi nelle maglie suddette.

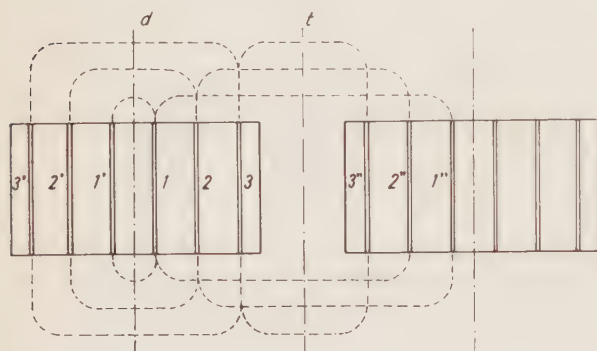


Fig. A-1 b

Nella fig. A-1 c infine sono indicate le convenzioni principali riguardanti le correnti e i flussi. In essa, per semplicità si è indicata una sola maglia diretta e una trasversa.

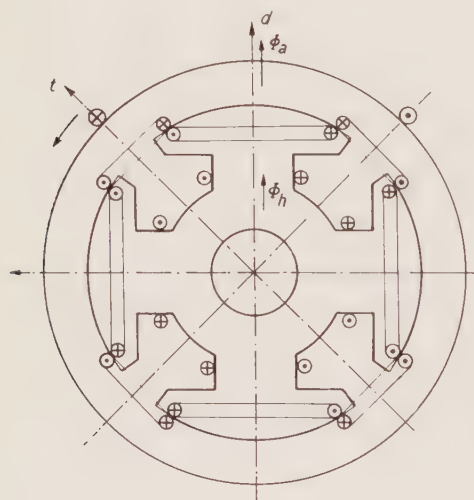


Fig. A-1 c

Le equazioni in cui si compendia la teoria di Park, costituiscono un complesso di mole considerevole. Per averne una visione più immediata e per facilitare chi

legge, esse sono state riunite in sei gruppi secondo il seguente ordine:

- 1) equazioni ai valori istantanei dei vari circuiti statici e rotorici;
- 2) equazioni di legame fra flussi e correnti;
- 3) equazioni esprimenti i coefficienti di auto e mutua induzione dei vari circuiti in funzione dell'angolo  $\theta$ ;
- 4) equazioni esprimenti la trasformazione e l'anti-trasformazione di Park;
- 5) equazioni di legame fra flussi e correnti, trasformate secondo Park;
- 6) equazioni dei vari circuiti statici e rotorici, trasformate secondo Park.

Il significato dei simboli usati nel seguito è illustrato nel seguente elenco:

- $a, b, c$ , indici che contraddistinguono nell'ordine la  $1^a$ ,  $2^a$ ,  $3^a$  fase statorica.
- $h$ , indice relativo al circuito di eccitazione rotorico.
- $id$ , doppio indice che si riferisce alla maglia diretta  $i$ -ma.
- $it$ , doppio indice che si riferisce alla maglia trasversa  $i$ -ma.
- $v$ , tensione ai morsetti del circuito individuato dall'indice (es.:  $v_a$  è la tensione ai morsetti della prima fase di statore).
- $\Phi$ , flusso di induzione concatenata con il circuito, individuato dall'indice.
- $r$ , resistenza di una fase di statore.
- $i$ , corrente nel circuito individuato dall'indice.
- $r_h$ , resistenza del circuito di eccitazione.
- $r_{id}, r_{ka}$ , resistenza mutua relativa alle maglie dirette  $i$ -ma e  $k$ -ma, ossia resistenza del tratto comune alle suddette maglie.
- $m$ , coefficiente di mutua induzione fra due circuiti generici. A questo proposito si tenga presente che il primo indice si riferisce al circuito con cui si concatena il flusso, il secondo al circuito ove circola la corrente, che genera il flusso. (Ad es.:  $m_{a id} i_{id}$  è il flusso concatenato con la fase  $a$ , prodotto dalla corrente circolante nella maglia diretta  $i$ -ma).

$2p$ , numero dei poli.

$\Theta$ , angolo elettrico formato dagli assi  $d$  ed  $a$ .

I simboli maiuscoli  $M, R, I$  (affetti da indici) sono legati ai precedenti dalle relazioni:

$$M = \frac{3}{2} m; \quad R = \frac{3}{2} r; \quad I = \frac{2}{3} i$$

$m'$ , è il valor massimo di un coefficiente generico  $m$ , dipendente da  $\Theta$ .

$i_d, i_t, i_o$ , correnti diretta, trasversa, omopolare, definite dalle (14 A).

$v_d, v_t, v_o$ , tensioni diretta, trasversa, omopolare, definite da formule analoghe alle (14 A).

$\Phi_d, \Phi_t, \Phi_o$ , flussi diretto, trasverso, omopolare, definiti da formule analoghe alle (14 A).

$m_d, m_t, m_o$ , coefficienti di autoinduzione diretto, trasverso, omopolare, definiti dalle relazioni (16 A).

$n_M$ , numero massimo di conduttori per unità di lunghezza dell'avvolgimento equivalente di statore.

$\tau$ , passo polare.

$k_a$ , coefficiente di avvolgimento di una fase di statore.

$N$ , numero totale di conduttori di una fase di statore.

$N_e$ , numero totale di conduttori di una fase dell'avvolgimento equivalente.

$\omega$ , pulsazione statorica.

$s$ , scorrimento.

$n$ , numero di sbarre per semipolo.

$X$ , reattanze corrispondenti ai vari  $m$  per la pulsazione  $\omega$ .

$v_m$ , valore massimo della tensione di una fase statorica.

$X_f$ , reattanza di dispersione di una fase statorica.



Illustriamo ora brevemente le equazioni suddette, iniziando con le seguenti, numerate da (1 A) a (4 A), che costituiscono il 1° gruppo:

$$(1 A) \begin{cases} v_a = + \frac{d\Phi_a}{dt} - r i_a \\ v_b = + \frac{d\Phi_b}{dt} - r i_b \\ v_c = + \frac{d\Phi_c}{dt} - r i_c \end{cases}$$

$$(2 A) \begin{cases} v_h = + \frac{d\Phi_h}{dt} + r i_h \end{cases}$$

$$(3 A) \begin{cases} 0 = + \frac{d\Phi_{1d}}{dt} + r_{1d1d} i_{1d} + r_{1d2d} i_{2d} + \dots \\ 0 = + \frac{d\Phi_{2d}}{dt} + r_{2d1d} i_{1d} + r_{2d2d} i_{2d} + \dots \\ 0 = \dots \end{cases}$$

$$(4 A) \begin{cases} 0 = + \frac{d\Phi_{1t}}{dt} + r_{1t1t} i_{1t} + r_{1t2t} i_{2t} + \dots \\ 0 = + \frac{d\Phi_{2t}}{dt} + r_{2t1t} i_{1t} + r_{2t2t} i_{2t} + \dots \\ 0 = \dots \end{cases}$$

Esse riguardano le equazioni di Ohm e di Kirchhoff ai valori istantanei dei vari circuiti e precisamente:

— le equazioni (1 A) si riferiscono alle tre fasi di statore. Si noti il rispetto delle convenzioni della fig. A-1 c (in particolare il flusso  $\Phi_a$  è positivo se diretto in senso contrario a quello prodotto dalla corrente  $i_a$ );

— l'equazione (2 A) è la legge di Ohm generalizzata, scritta per il circuito di eccitazione;

— le equazioni di Kirchhoff scritte per le maglie dirette (le correnti sono correnti di maglia). Si noti l'assenza di termini contenenti correnti trasverse. È immediato infatti constatare, ad esempio servendosi della fig. A-1 c, che in una generica maglia diretta le cadute ohmiche prodotte da correnti trasverse si elidono a due a due;

— le equazioni (4 A) sono analoghe alle (3 A) e si riferiscono alle maglie trasverse. In esse mancano ovviamente termini contenenti le correnti dirette.

Le equazioni del 2° gruppo sono numerate da (5 A) a (8 A) e possono così scriversi:

$$(5 A) \begin{cases} \Phi_a = -m_{aa} i_a - m_{ab} i_b - m_{ac} i_c + m_{ah} i_h + m_{a1d} i_{1d} + m_{a2d} i_{2d} + \dots + m_{a1t} i_{1t} + m_{a2t} i_{2t} + \dots \\ \Phi_b = -m_{ba} i_a - m_{bb} i_b - m_{bc} i_c + m_{bh} i_h + m_{b1d} i_{1d} + m_{b2d} i_{2d} + \dots + m_{b1t} i_{1t} + m_{b2t} i_{2t} + \dots \\ \Phi_c = -m_{ca} i_a - m_{cb} i_b - m_{cc} i_c + m_{ch} i_h + m_{c1d} i_{1d} + m_{c2d} i_{2d} + \dots + m_{c1t} i_{1t} + m_{c2t} i_{2t} + \dots \end{cases}$$

$$(6 A) \begin{cases} \Phi_h = -m_{ha} i_a - m_{hb} i_b - m_{hc} i_c + m_{hh} i_h + m_{h1d} i_{1d} + m_{h2d} i_{2d} + \dots + m_{h1t} i_{1t} + m_{h2t} i_{2t} + \dots \end{cases}$$

$$(7 A) \begin{cases} \Phi_{1d} = -m_{1da} i_a - m_{1db} i_b - m_{1dc} i_c + m_{1dh} i_h + m_{1d1d} i_{1d} + m_{1d2d} i_{2d} + \dots \\ \Phi_{2d} = -m_{2da} i_a - m_{2db} i_b - m_{2dc} i_c + m_{2dh} i_h + m_{2d1d} i_{1d} + m_{2d2d} i_{2d} + \dots \\ \dots = \dots \end{cases}$$

$$(8 A) \begin{cases} \Phi_{1t} = -m_{1ta} i_a - m_{1tb} i_b - m_{1tc} i_c + m_{1th} i_h + m_{1t1t} i_{1t} + m_{1t2t} i_{2t} + \dots \\ \Phi_{2t} = -m_{2ta} i_a - m_{2tb} i_b - m_{2tc} i_c + m_{2th} i_h + m_{2t1t} i_{1t} + m_{2t2t} i_{2t} + \dots \\ \dots = \dots \end{cases}$$

In esse sono riportati i legami tra i flussi concatenati con i vari circuiti e le correnti di statore e di rotore. I segni indicati sono coerenti con le convenzioni assunte (fig. A-1 c). Si noti nelle equazioni (7 A) l'assenza di termini comprendenti correnti trasverse e analogamente in (7 B) l'assenza delle correnti dirette. Ciò è dovuto al fatto che, come risulta dalla fig. A-1 c, il coefficiente di mutua induzione fra circuiti diretti e circuiti trasversi è nullo.

I coefficienti delle precedenti equazioni (5 A - 8 A), che hanno almeno un indice relativo a circuiti statorici, dipendono dall'angolo  $\Theta$  secondo i legami funzionali indicati nelle seguenti equazioni, da (9 A) a (13 A), che costituiscono il 3° gruppo:

$$(9 A) \begin{cases} m_{aa} = m_{aa0} + m_{aa2} \cos 2 \Theta \\ m_{bb} = m_{aa0} + m_{aa2} \cos 2 \left( \Theta - \frac{2 \pi}{3} \right) \\ m_{cc} = m_{aa0} + m_{aa2} \cos 2 \left( \Theta + \frac{2 \pi}{3} \right) \end{cases}$$

$$(10 A) \begin{cases} m_{ab} = m_{ba} = -m_{ab0} - m_{aa2} \cos 2 \left( \Theta + \frac{\pi}{6} \right) \\ m_{bc} = m_{cb} = -m_{ab0} - m_{aa2} \cos 2 \left( \Theta - \frac{\pi}{2} \right) \\ m_{ac} = m_{ca} = -m_{ab0} - m_{aa2} \cos 2 \left( \Theta + \frac{5 \pi}{6} \right) \end{cases}$$

$$(11 A) \begin{cases} m_{ah} = m_{ha} = m'_{ah} \cos \Theta \\ m_{bh} = m_{hb} = m'_{ah} \cos \left( \Theta - \frac{2 \pi}{3} \right) \\ m_{ch} = m_{hc} = m'_{ah} \cos \left( \Theta + \frac{2 \pi}{3} \right) \end{cases}$$

$$(12 A) \begin{cases} m_{a1d} = m_{1da} = m'_{a1d} \cos \Theta \\ m_{b1d} = m_{1db} = m'_{a1d} \cos \left( \Theta - \frac{2 \pi}{3} \right) \\ m_{c1d} = m_{1dc} = m'_{a1d} \cos \left( \Theta + \frac{2 \pi}{3} \right) \end{cases}$$



$$(13 A) \begin{cases} m_{a\,it} = m_{it\,a} = -m'_{a\,it} \operatorname{sen} \Theta \\ m_{b\,it} = m_{it\,b} = -m'_{a\,it} \operatorname{sen} \left( \Theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ m_{c\,it} = m_{it\,c} = -m'_{a\,it} \operatorname{sen} \left( \Theta + \frac{2\pi}{3} \right) \end{cases}$$

L'espressione analitica di tali legami deriva dalle ipotesi fondamentali e in particolare dall'aver supposto gli avvolgimenti di statore con distribuzione sinusoidale dei conduttori. Si ha infatti, in tal caso, che nella valutazione dei flussi concatenati con gli avvolgimenti di statore sono nulli i contributi delle armoniche superiori della distribuzione del campo al traferro ed è quindi corretto eseguire il calcolo in base al contributo della prima armonica. A titolo d'esempio, consideriamo il primo coefficiente  $m_{aa}$ , ossia il coefficiente di autoinduzione della 1<sup>a</sup> fase.

Una corrente unitaria, circolante nella fase  $a$ , genera un diagramma di f.m.m., che varia sinusoidalmente lungo il traferro. Tale diagramma può decomporre in 2 diagrammi, pure sinusoidali, di amperspire, disposte le une (amperspire longitudinali) con il massimo in corrispondenza dell'asse  $d$ , le altre (amperspire trasversali) con il massimo in corrispondenza dell'asse  $t$ .

Le amperspire longitudinali, la cui ampiezza è proporzionale a  $\cos \Theta$ , generano un flusso  $\Phi'_d$  longitudinale, della cui distribuzione ci interessa, per quanto detto sopra, la sola prima armonica.

In modo analogo le amperspire trasversali, la cui ampiezza è proporzionale a  $(-\operatorname{sen} \Theta)$ , generano un flusso  $\Phi'_t$  trasversale, della cui distribuzione consideriamo ancora la sola prima armonica.

Le distribuzioni di induzione (di 1<sup>a</sup> armonica) al traferro suddette possono ancora decomporre, ognuna, in 2 diagrammi di induzione sinusoidale, con le ampiezze massime situate in corrispondenza di un asse in quadratura (elettrica) con  $a$  e in corrispondenza dell'asse  $a$  stesso. Soltanto i flussi relativi a quest'ultime due distribuzioni si concatenano con l'avvolgimento  $a$ . Essi sono proporzionali ancora a  $\cos \Theta$  e a  $(-\operatorname{sen} \Theta)$ , per cui, in definitiva, la sequenza delle decomposizioni descritte porta a scrivere, per  $m_{aa}$ , la seguente espressione <sup>(5)</sup>:

$$(13' A) \quad m_{aa} = \frac{A \cos^2 \Theta + B \operatorname{sen}^2 \Theta}{A + B} + \frac{A - B}{A + B} \cos 2\Theta = \frac{2}{A + B} + \frac{2}{A - B} \cos 2\Theta = m_{aa0} + m_{aa2} \cos 2\Theta$$

ove  $A, B$  sono costanti della macchina e così pure

$$m_{aa0} = \frac{A + B}{2} \quad \text{e} \quad m_{aa2} = \frac{A - B}{2}$$

Non insistiamo sul calcolo degli altri coefficienti, che si ricavano con considerazioni dello stesso tipo.

Il 4° gruppo di equazioni comprende la (14 A) e (15 A):

$$(14 A) \begin{cases} i_d = \frac{2}{3} \left[ i_a \cos \Theta + i_b \cos \left( \Theta - \frac{2\pi}{3} \right) + i_c \cos \left( \Theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \\ i_t = -\frac{2}{3} \left[ i_a \operatorname{sen} \Theta + i_b \operatorname{sen} \left( \Theta - \frac{2\pi}{3} \right) + i_c \operatorname{sen} \left( \Theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \\ i_0 = \frac{1}{3} (i_a + i_b + i_c) \end{cases}$$

da cui

$$(15 A) \begin{cases} i_a = i_d \cos \Theta - i_t \operatorname{sen} \Theta + i_0 \\ i_b = i_d \cos \left( \Theta - \frac{2\pi}{3} \right) - i_t \operatorname{sen} \left( \Theta - \frac{2\pi}{3} \right) + i_0 \\ i_c = i_d \cos \left( \Theta + \frac{2\pi}{3} \right) - i_t \operatorname{sen} \left( \Theta + \frac{2\pi}{3} \right) + i_0 \end{cases}$$

In esse sono riportate le formule di trasformazione diretta e inversa di Park, che costituiscono il punto essenziale di tutta la teoria della doppia reazione, come si vedrà più avanti.

Le formule (14 A) sono quelle di trasformazione diretta e consentono di operare un cambiamento di variabile, sostituendo alle correnti di fase  $i_a, i_b, i_c$ , tre nuove correnti  $i_d, i_t, i_0$ , dette rispettivamente corrente diretta, trasversa e omopolare.

Le formule (15 A) sono quelle di trasformazione inversa (o antitransformazione) e consentono, supposte note  $i_d, i_t, i_0$  di risalire ai valori delle correnti di statore.

Le relazioni suddette si applicano anche alle altre variabili, relative alle fasi statoriche, in particolare alle tensioni e ai flussi. Indicheremo quindi con  $v_d, v_t, v_0$  le componenti diretta, trasversa e omopolare della tensione e con  $\Phi_d, \Phi_t, \Phi_0$  le analoghe componenti dei flussi. Tali grandezze sono definite ancora dalle (14 A), purché si proceda a un'evidente sostituzione di simboli. Nel loro complesso le componenti dirette, trasverse e omopolari vengono denominate « componenti assiali ».

È interessante esaminare, come esempio di trasformazione, il caso molto importante in cui le correnti statoriche sono equilibrate. Si ha allora:

$$(14^I A) \begin{cases} i_a = I_M \cos \omega t \\ i_b = I_M \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_c = I_M \cos \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \end{cases}$$

avendo indicato con  $I_M$  il valore massimo della corrente di una fase.

Sostituendo le (14<sup>I</sup> A) in (14 A) si ha con semplici passaggi:

$$(14^{II} A) \begin{cases} i_d = I_M \cos (\omega t - \Theta) \\ i_t = I_M \operatorname{sen} (\omega t - \Theta) \\ i_0 = 0 \end{cases}$$

Supponiamo ora che il rotore ruoti a velocità costante, non necessariamente uguale a quella di sincronismo. In-

trodotto lo scorrimento  $s$ , si ha allora:

$$(14^{III} A) \quad \Theta = (1 - s) \omega t + \Theta_0$$

ove  $\Theta_0$  è l'angolo elettrico formato dagli assi  $d$  e  $a$  all'i-

<sup>(5)</sup> Naturalmente il fatto che  $m_a$  sia funzione periodica dell'argomento  $2\Theta$ , è cosa giustificabile intuitivamente. Basti pensare che, variando  $\Theta$  da 0 a  $2\pi$ ,  $m_a$  diventa massimo 2 volte (per  $\Theta = 0$  e  $\Theta = \pi$ ).

stante  $t = 0$ , ossia quando la corrente è massima nella fase  $a$ . Sostituendo  $(14^I A)$  in  $(14^{II} A)$  si ottiene:

$$(14^{IV} A) \quad \begin{cases} i_d = I_M \cos (s \omega t - \Theta_0) \\ i_t = I_M \sin (s \omega t - \Theta_0) \end{cases}$$

da cui risulta che la corrente diretta e trasversa sono, con le ipotesi fatte, correnti alternate di pulsazione  $s\omega$ . In particolare per  $s = 0$  le relazioni precedenti diventano:

$$(14^V A) \quad \begin{cases} i_d = I_M \cos \Theta_0 \\ i_t = -I_M \sin \Theta_0 \end{cases}$$

Si conclude quindi che *al sincronismo*, le correnti diretta e trasversa diventano *costanti*.

Le equazioni seguenti, da  $(16 A)$  a  $(19 A)$ , costituiscono il 5° gruppo:

$$(16 A) \quad \begin{cases} \Phi_d = -m_d i_d + M_{dh} I_h + M_{a1d} I_{1d} + M_{a2d} I_{2d} + \dots \\ \Phi_t = -m_t i_t + M_{a1t} I_{1t} + M_{a2t} I_{2t} + \dots \\ \Phi_0 = -m_0 i_0 \end{cases}$$

$$(17 A) \quad \Phi_h = -M_{ha} i_d + M_{hh} I_h + M_{h1d} I_{1d} + M_{h2d} I_{2d} + \dots$$

$$(18 A) \quad \begin{cases} \Phi_{1d} = -M_{1da} i_d + M_{1dh} I_h + M_{1d1d} I_{1d} + M_{1d2d} I_{2d} + \dots \\ \Phi_{2d} = \dots \end{cases}$$

$$(19 A) \quad \begin{cases} \Phi_{1t} = -M_{1ta} i_t + M_{1t1t} I_{1t} + M_{1t2t} I_{2t} + \dots \\ \Phi_{2t} = \dots \end{cases}$$

Le relazioni, suddette legano i flussi alle correnti. Osserviamo che non figurano le correnti e i flussi delle fasi statoriche, ma in loro vece sono presenti le componenti dirette, trasverse e omopolari. Le relazioni suddette si possono ricavare con un procedimento assai semplice, ma alquanto laborioso. Senza svilupparlo per esteso, possiamo così riassumerlo, indicando i passaggi essenziali:

1) sostituzione dei coefficienti dipendenti dall'angolo  $\Theta$  (3° gruppo di equazioni) nelle equazioni del 2° gruppo;

2) sostituzione, sempre nelle formule del 2° gruppo delle grandezze dirette, trasverse e omopolari (sia per i flussi che per le correnti) facendo uso delle  $(14 A)$ ;

3) risoluzione delle equazioni, così manipolate, rispetto ai flussi e introduzione delle seguenti posizioni:

$$(16^I A) \quad \begin{cases} m_d = m_{aa0} + m_{ab0} + \frac{3}{2} m_{aa2} \\ m_t = m_{aa0} + m_{ab0} - \frac{3}{2} m_{aa2} \\ m_0 = m_{aa0} - 2 m_{ab0} \end{cases}$$

4) introduzione di nuove correnti rotoriche, che indicheremo con la lettera maiuscola, aventi un valore pari

ai  $2/3$  delle correnti effettive [esempio:  $I_h = \frac{2}{3} i_h$ ]. In-

troduzione di nuovi coefficienti  $M$ , aventi un valore pari a  $3/2$  del corrispondente coefficiente  $m'$

$$\left[ \text{esempio: } M_{ah} = \frac{3}{2} m'_{ah} \right].$$

Quest'ultima operazione risulta utile per far comparire nelle equazioni del 5° gruppo, soltanto coefficienti invarianti rispetto all'inversione degli indici.

Concludiamo osservando che nelle equazioni della colonna (5) non compare l'angolo  $\Theta$ , in quanto i coefficienti che moltiplicano le correnti sono costanti. Ciò costituisce

un indubbio vantaggio rispetto alle equazioni del 2° gruppo.

Consideriamo infine l'ultimo gruppo di equazioni costituito dalle  $(20 A)$ ,  $(21 A)$ ,  $(22 A)$ :

$$(20 A) \quad \begin{cases} v_d = \frac{d\Phi_d}{dt} - \Phi_t \frac{d\Theta}{dt} - r i_d \\ v_t = \frac{d\Phi_t}{dt} + \Phi_d \frac{d\Theta}{dt} - r i_t \\ v_0 = \frac{d\Phi_0}{dt} - r i_0 \\ v_h = + \frac{d\Phi_h}{dt} + R_h I_h \end{cases}$$

$$(21 A) \quad \begin{cases} 0 = + \frac{d\Phi_{1d}}{dt} + R_{1d1d} I_{1d} + R_{1d2d} I_{2d} + \dots \\ 0 = + \frac{d\Phi_{2d}}{dt} + \dots \end{cases}$$

$$(22 A) \quad \begin{cases} 0 = + \frac{d\Phi_{1t}}{dt} + R_{1t1t} I_{1t} + R_{1t2t} I_{2t} + \dots \\ 0 = + \frac{d\Phi_{2t}}{dt} + \dots \end{cases}$$

In esse sono raccolte le equazioni di Ohm e di Kirchhoff ai vari circuiti. Si osserva anche in questo caso la presenza delle componenti assiali in luogo delle variabili statoriche.

Per ottenere la prima delle  $(20 A)$ , moltiplichiamo le tre equazioni  $(1 A)$  rispettivamente per:

$$\frac{2}{3} \cos \Theta, \quad \frac{2}{3} \cos \left( \Theta - \frac{2\pi}{3} \right), \quad \frac{2}{3} \cos \left( \Theta + \frac{2\pi}{3} \right)$$

e sommiamole membro a membro. Si ha:

$$\begin{aligned} \frac{2}{3} v_a \cos \Theta &= \frac{2}{3} \cos \Theta \left( \frac{d\Phi_a}{dt} - r i_a \right) \\ \frac{2}{3} v_b \cos \left( \Theta - \frac{2\pi}{3} \right) &= \frac{2}{3} \cos \left( \Theta - \frac{2\pi}{3} \right) \left( \frac{d\Phi_b}{dt} - r i_b \right) \\ \frac{2}{3} v_c \cos \left( \Theta + \frac{2\pi}{3} \right) &= \frac{2}{3} \cos \left( \Theta + \frac{2\pi}{3} \right) \left( \frac{d\Phi_c}{dt} - r i_c \right) \end{aligned}$$



$$(20A) \quad v_d = \frac{d\Phi_d}{dt} - \Phi_t \frac{d\Theta}{dt} - r i_d$$

In modo analogo, salvo moltiplicare le suddette equazioni rispettivamente per:

$$\left(-\frac{2}{3} \sin \Theta\right), \quad \left[-\frac{2}{3} \sin \left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right)\right], \\ \left[-\frac{2}{3} \sin \left(\Theta + \frac{2\pi}{3}\right)\right],$$

si ottiene la seconda delle (20 A), mentre per ottenere l'ultima delle (20 A) è sufficiente semplicemente sommare, membro a membro le (1 A).

Le rimanenti equazioni del gruppo 6 sono di interpretazione immediata. Si osservi soltanto che in esse figurano le resistenze rotoriche, rappresentate con simbolo maiuscolo (pari a 3/2 delle corrispondenti resistenze con simbolo minuscolo) e le correnti  $I$ , già introdotte nella precedente gruppo.

*Osservazioni conclusive relative agli ultimi 2 gruppi di formule (da 16 A a 22 A).*

Tali equazioni, descrivono completamente il funzionamento della macchina per una data velocità. Infatti, supposto di eliminare i flussi, sostituendo le loro espressioni nel gruppo 6, si ottiene un complesso di equazioni, dalle quali, noti  $v_d$ ,  $v_t$ ,  $v_o$ ,  $d\Theta/dt$  è possibile ricavare tutte le correnti.

Naturalmente, per il calcolo delle correnti di statore, è necessario, una volta ottenute le componenti assiali, far uso delle formule di antitrasformazione.

#### A-2. - CALCOLO DELLA POTENZA E DELLA COPPIA.

Si definisce « potenza istantanea unitaria », la seguente espressione:

$$(24 A) \quad p_u = \frac{2}{3} (v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c)$$

Tale definizione corrisponde ad assumere come potenza base (ossia il valore 1) il valore medio che si ha quando le tensioni e le correnti costituiscono un sistema simmetrico ed equilibrato, hanno valore massimo unitario ed inoltre sono in fase.

Tenendo presente le formule di antitrasformazione e

sostituendole nelle (24 A), si ottiene con semplici passaggi il seguente bilancio energetico, già espresso in componenti assiali:

$$(25 A) \quad p_u = \left(-i_d \Phi_t + i_t \Phi_d\right) \omega + \\ + \left(i_d \frac{d\Phi_d}{dt} + i_t \frac{d\Phi_t}{dt} + 2 i_o \frac{d\Phi_o}{dt}\right) - \\ - r (i_d^2 + i_t^2 + 2 i_o^2)$$

È immediato interpretare i 2 ultimi termini che figurano nel 2° membro della (25 A) come variazioni per unità di tempo dell'energia elettromagnetica e come potenza dissipata per effetto Joule. Resta pertanto dimostrato, per via indiretta che il primo termine del 2° membro è la potenza meccanica  $p_m$ , ossia:

$$(26 A) \quad p_m = \omega (i_t \Phi_d - i_d \Phi_t)$$

da cui la coppia  $C$  risulta espressa

$$(27 A) \quad C = p (i_t \Phi_d - i_d \Phi_t)$$

*Manoscritto pervenuto il 6 settembre 1961.*

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] F. BAROZZI: *Coppie e correnti nell'avviamento in asincrono dei motori sincrini*. - « L'Elettrotecnica », vol. XLI, 1954.
- [2] J. H. KUHLMANN: *Design of Electrical Apparatus*. - John Wiley e Sons, New York, 1950.
- [3] C. CONCORDIA: *Synchronous Machines. Theory and Performance*. - John Wiley e Sons, New York, 1951.
- [4] TH. LAIBLE: *Die Theorie der Synchronmaschine im nichtstationären Betrieb*. Springer Verlag, Berlin, 1952.
- [5] R. H. PARK: *Two Reactions Theory of Synchronous Machines*. Part. I, « A.I.E.E. Transactions », vol. 48, 1929.
- [6] T. M. LINVILLE: *Starting Performance of Salient Pole Synchronous Motors*. - « A.I.E.E. Transactions », vol. 49, pagg. 531-547.
- [7] W. SCHISKY: *Über die Stromverteilung in Anlauf-Käfig eines Synchronmotors*. - « E. u. M. », vol. 58, 1940, pag. 93.
- [8] O. E. POLLOT: *Die Stromverteilung im Dampfer-Käfig von Synchronmaschinen mit Einzelpolen bei asynchronem Anlauf*. « Arch. fur Elektr. », 36 Band, 1942, pag. 652-677.
- [9] W. RANKIN: *Asynchronous and Single-Phase Operation of Synchronous Machines*. - « A.I.E.E. Transactions », vol. 65, 1946, pagg. 1092-1102.
- [10] E. JASSE: *Theorie der Dampferkäfig von Synchronmaschinen*. « Arch. fur Elektrotech. », 39 Band, 1948, pagg. 233-259.

# CALCOLO DELLE VELOCITÀ CRITICHE DEGLI ALBERI ROTANTI MEDIANTE CIRCUITI ANALOGICI

G. BASILE (\*)

*Nella presente nota viene illustrata una estensione di un metodo analogico per la ricerca automatica degli autovalori di equazioni differenziali, che fu oggetto di un precedente lavoro [5].*

*L'estensione riguarda una particolare categoria di equazioni del quarto ordine, che interviene nella determinazione delle velocità critiche di alberi rotanti. L'utilità del metodo è anche dovuta al fatto che uno stesso circuito si presta alla soluzione di qualsiasi problema di ricerca delle velocità critiche (cioè per alberi di lunghezza e profilo qualsiasi) purchè si sia in grado di generare, di volta in volta, una tensione di forma opportuna (in relazione al profilo dell'albero in esame) e si adottino convenienti fattori di scala.*

I. — PREMESSA.

È noto che il calcolo delle velocità critiche degli alberi è molto laborioso, soprattutto quando, come accade in generale, l'albero non ha sezione costante. Per ridurre in misura notevolissima il tempo necessario per il calcolo e le probabilità di errore si deve ricorrere all'impiego di calcolatori elettronici.

È quindi utile considerare la possibilità di calcolare, con approssimazione più che sufficiente, le velocità critiche mediante un circuito analogico.

Un tale calcolatore ha, rispetto al calcolatore numerico elettronico, come è noto, il vantaggio del costo trascurabile, mentre ha in comune con esso la possibilità di impiego per alberi diversi, variando da caso a caso, opportuni parametri del circuito.

Questa caratteristica rende trascurabile l'incidenza del tempo per la progettazione e la costruzione del circuito.

La approssimazione che si può ottenere nel calcolo dipende ovviamente dalla precisione con cui i vari componenti del circuito adempiono alle funzioni per cui sono previsti. È noto peraltro come la tecnica del calcolo analogico, con l'impiego dei moderni amplificatori operazionali, consenta approssimazioni soddisfacenti.

## 2. - PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL MODELLO.

La deformata elastica di un albero rotante, come è noto, [1], è determinata dalla equazione differenziale:

$$(I) \quad y^{IV} - \omega^2 \frac{m(x)}{E I(x)} y = 0$$

in cui  $y$  rappresenta l'ordinata generica della linea elastica,  $\omega$  la velocità angolare dell'albero,  $m(x)$  la massa di un tronco di albero di lunghezza unitaria, in corrispondenza dell'ascissa generica  $x$ ,  $E$  il modulo di elasticità normale,  $J(x)$  il momento d'inerzia che interviene nel calcolo delle velocità critiche, nella sezione generica.

Si può dimostrare [2] che, in corrispondenza a determinati valori  $\lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}, \dots$  del parametro  $\lambda = \omega^2$ , la (I) ammette soluzioni non identicamente nulle che prendono il nome di autofunzioni e sono compatibili con le condi-

zioni ai limiti, di tipo omogeneo, che derivano dai vincoli a cui è soggetto l'albero. Tali valori di  $\lambda$  rappresentano gli *autovalori* del problema, e determinano le velocità critiche.

Ponendo:

$$\frac{\omega^2 - \lambda}{m(x)} = f(x)$$

la (I) si può scrivere:

$$(2) \quad y^{IV} - \lambda f(x) y = 0$$

essendo la funzione  $f(x)$  determinata dal profilo dell'albero nonchè dalle proprietà fisiche del materiale che lo costituisce e dalla distribuzione dei carichi.

Per fissare le idee, facciamo riferimento ad un albero di lunghezza  $L$ , semplicemente appoggiato agli estremi, che è il caso più comunemente considerato.

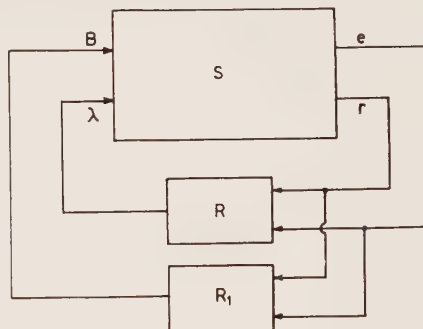


Fig. 1. — Schema di principio del circuito analogico

Le condizioni ai limiti si ricavano allora esprimendo l'annullamento della  $y$  e del momento flettente ( $M_f = -E I y''$ ) in corrispondenza degli appoggi:

$$(3) \quad \begin{aligned} y(O) - y(L) &= 0 \\ y''(O) &= y''(L) = 0 \end{aligned}$$

È facile dimostrare (V. appendice) che le autofunzioni  $y = y(x)$  risultano univocamente determinate se, oltre alle (3), viene imposta un'altra condizione.

Per ragioni relative alla realizzazione del modello conviene fissare il valore di una grandezza all'estremo  $x = 0$ , per esempio il valore  $y'''(0)$ . Resta allora determinato anche  $y'(0)$ , che è una funzione di  $\lambda$ , a priori incognita.

La ricerca automatica degli autovalori della (2) può effettuarsi con un calcolatore analogico di tipo ripetitivo, il cui schema di principio è illustrato in fig. 1. Esso comprende un solutore  $S$  che, nell'ennesimo periodo di calcolo, integra l'equazione (2) con le condizioni iniziali:

$$\begin{aligned} y(0) &= y''(0) = 0 \\ y'(0) &= B_n \\ y'''(0) &= C \end{aligned}$$

(\*) G. BASILE, Collaboratore del Centro di studio per l'elettronica e le telecomunicazioni del CNR - Università di Bologna.



e con  $\lambda = \lambda_n$ , essendo  $C$  una costante arbitraria (la stessa in tutti i periodi di calcolo), mentre  $\lambda_n$  e  $B_n$  vengono introdotte nel solutore dalle reti di reazione  $R$  ed  $R_1$ , rispettivamente.

Al termine dell'ennesimo periodo di calcolo il solutore  $S$  fornisce di errori

$$\begin{aligned} e_n &= y(T_n) \\ r_n &= y''(T_n) \end{aligned}$$

che rappresentano gli scarti rispetto allo zero della  $y$  e della sua derivata seconda.

I circuiti  $R$  ed  $R_1$ , alimentati dalle « tensioni errore »  $e_n$  ed  $r_n$ , variano in maniera opportuna i valori di  $\lambda_n$  e  $B_n$  (costanti durante ciascun periodo di calcolo) e il senso delle correzioni deve essere tale da tendere all'annullamento degli errori.

Si pone così il problema della convergenza a zero delle successioni  $e_n$  ed  $r_n$ , che sarà discusso al punto 4.

### 3. — SCHEMI DEI CIRCUITI.

Il circuito solutore  $S$  può essere realizzato come è mostrato in fig. 2.

Alla variabile indipendente  $x$  si fa corrispondere la variabile tempo, mentre alla  $y$  ed alle sue derivate,  $y'$ ,

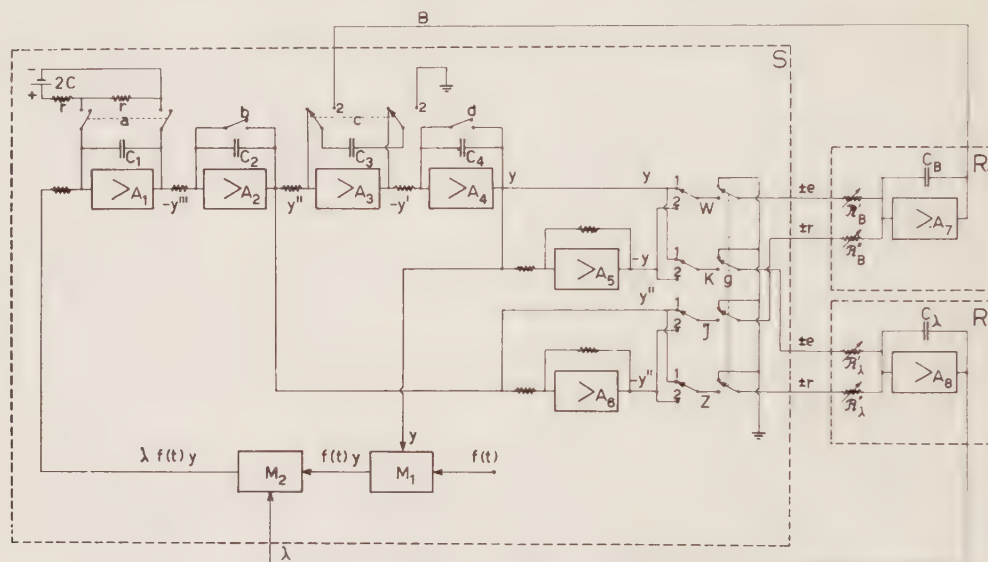


Fig. 2

$y''$ ,  $y'''$ , corrispondono rispettivamente le tensioni di uscita degli amplificatori operazionali  $A_4$ ,  $A_3$ ,  $A_2$ ,  $A_1$ .

I contatti  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  sono utilizzati per inserire le condizioni iniziali al principio di ogni periodo di calcolo, di durata  $T_c$ .

Infatti, nell'intervallo  $\tau_1$  che precede  $T_c$  (fig. 3), i contatti  $a$ ,  $b$ ,  $d$ , si chiudono, ed il contatto  $c$  si commuta in posizione 2.

Nello stesso intervallo di tempo  $\tau_1$ , molto breve rispetto a  $T_c$ , le tensioni fra le armature dei condensatori  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ , che rappresentano i valori iniziali  $y''(0)$ ,  $y'(0)$ ,  $y(0)$ , assumono rispettivamente i valori:

$$C, 0, B_n, 0.$$

I circuiti indicati con  $M_1$  ed  $M_2$  rappresentano due moltiplicatori.

I commutatori  $W$ ,  $K$ ,  $J$ ,  $Z$  vengono comandati dall'operatore per ottenere, come si vedrà nel seguito, la convergenza del calcolo.

I circuiti di reazione  $R$  ed  $R_1$  sono costituiti da due integratori ai cui morsetti d'ingresso, connessi normal-

mente a terra, si inviano le tensioni errore  $e_n$  ed  $r_n$ , tramite il commutatore  $g$ , al termine del generico periodo di calcolo  $\eta^{mo}$ , per un tempo  $\tau_2$  anch'esso molto breve rispetto a  $T_c$  (fig. 3). Poichè  $\tau_1 + \tau_2 < T_c$ , si può ritenere  $T_c = T$ .

Durante  $\tau_2$  le tensioni di uscita  $\lambda_n$  e  $B_n$  dei circuiti  $R$  ed  $R_1$  vengono variate con gli incrementi  $\Delta \lambda_n$  e  $\Delta B_n$ , proporzionali ad opportune combinazioni lineari degli errori  $e_n$  ed  $r_n$ . Scriviamo perciò:

$$\begin{aligned} \lambda_{n+1} - \lambda_n &= \Delta \lambda_n = \eta e_n + \theta r_n \\ B_{n+1} - B_n &= \Delta B_n = \kappa e_n + \xi r_n \end{aligned}$$

essendo  $\eta$ ,  $\theta$ ,  $\kappa$ ,  $\xi$  costanti numeriche dipendenti dai valori dei parametri del circuito, dalle posizioni dei commutatori  $W$ ,  $K$ ,  $J$ ,  $Z$ , e dal tempo di chiusura dei contatti  $g$ .

Risulta ovviamente (fig. 2):

$$\begin{aligned} \eta &= \pm \frac{\tau_2}{R'_\lambda \cdot C_\lambda} & \theta &= \pm \frac{\tau_2}{R''_\lambda \cdot C_\lambda} \\ \kappa &= \pm \frac{\tau_2}{R'_B \cdot C_B} & \xi &= \pm \frac{\tau_2}{R''_B \cdot C_B} \end{aligned}$$

I segni + valgono per i commutatori  $W$ ,  $K$ ,  $J$  e  $Z$  in posizione 2; i segni — per i commutatori in posizione 1.



Fig. 3

### 4. — CONVERGENZA DEL CALCOLO.

Supponiamo di eseguire il primo calcolo assumendo valori arbitrari,  $\lambda_1$  e  $B_1$ , rispettivamente per  $\lambda$  e per  $y'(0)$ .

Al termine del calcolo stesso, non risultano in generale verificate le condizioni  $y(T) = y''(T) = 0$ , e si hanno pertanto gli errori:

$$\begin{aligned} e_1 &= y(T_1) \neq 0 \\ r_1 &= y''(T_1) \neq 0. \end{aligned}$$

Alla chiusura dei contatti  $g$ , come già si è visto, le tensioni  $B_1$  e  $\lambda_1$  vengono opportunamente modificate, ed il secondo calcolo viene compiuto con un valore di  $\lambda$  espresso da:

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \eta \epsilon_1 + \theta r_1,$$

mentre il nuovo valore iniziale della  $y'$  risulta:

$$B_2 = B_1 + \kappa \epsilon_1 + \xi r_1.$$

Con riferimento al calcolo  $n^{mo}$ , si avrà:

$$(5) \quad \lambda_n = \lambda_{n-1} + \eta \epsilon_{n-1} + \theta r_{n-1}$$

$$B_n = B_{n-1} + \kappa \epsilon_{n-1} + \xi r_{n-1}.$$

D'altra parte, gli errori  $\epsilon_n$  ed  $r_n$ , relativi a questo calcolo  $n^{mo}$ , sono funzioni ben determinate di  $\lambda_n$  e  $B_n$ , la cui espressione analitica, in generale, non è nota. Scriveremo perciò:

$$\epsilon_n = \varphi(\lambda_n, B_n)$$

$$(6) \quad r_n = \Psi(\lambda_n, B_n)$$

Per un generico autovalore  $\lambda^{(k)}$ , si hanno le equazioni:

$$(7) \quad \varphi[\lambda^{(k)}, F(\lambda^{(k)})] = \Psi[\lambda^{(k)}, F(\lambda^{(k)})] = 0$$

in cui al posto di  $B_n = y'(O)$  si è sostituito  $F(\lambda^{(k)})$  per mettere in evidenza che  $y'(O)$  è funzione di  $\lambda$ .

Sostituendo ora le (6) nelle (5), si ottiene il sistema di equazioni alle differenze finite:

$$(8) \quad \lambda_n = \lambda_{n-1} + \eta \varphi(\lambda_{n-1}, B_{n-1}) + \theta \Psi(\lambda_{n-1}, B_{n-1})$$

$$B_n = B_{n-1} + \kappa \varphi(\lambda_{n-1}, B_{n-1}) + \xi \Psi(\lambda_{n-1}, B_{n-1})$$

Fissati i valori iniziali  $\lambda_1$  e  $B_1$ , il sistema (8) definisce le successioni  $\lambda_n$  e  $B_n$ .

È chiaro che, in virtù delle (7), il sistema (8) viene soddisfatto assumendo:

$$\lambda_n \equiv \lambda^{(k)}$$

$$B_n \equiv F(\lambda^{(k)})$$

In questo caso si ha evidentemente una condizione di funzionamento periodico del sistema, univocamente associata all'autovalore  $\lambda^{(k)}$ .

Tale situazione può rappresentarsi, in un piano  $(\lambda, B)$ , col punto di coordinate  $\lambda^{(k)}$ ,  $F(\lambda^{(k)})$ . È con riferimento a questa corrispondenza, che nel seguito si parlerà di *punto di equilibrio del sistema*.

Si tratta ora di effettuare lo studio della convergenza delle soluzioni del sistema (8), cioè di vedere se le successioni che corrispondono a valori iniziali  $\lambda_1$  e  $B_1$  compresi in un piccolo intorno di  $\lambda^{(k)}$  e  $F(\lambda^{(k)})$  rispettivamente, convergono verso le soluzioni *stazionarie*:

$$\lambda_n = \lambda^{(k)}$$

$$B_n = F(\lambda^{(k)})$$

Solo in questo caso, infatti, il modello è utile per la determinazione delle velocità critiche.

Per studiare la convergenza delle successioni  $\lambda_n$  e  $B_n$ , supponiamo di trovarci nell'intorno del punto di equilibrio  $\lambda^{(k)}$ ,  $F(\lambda^{(k)})$ ; supponiamo cioè che da un certo  $n$  in poi risulti:

$$(9) \quad \begin{cases} \lambda_n = (1 + \epsilon_n) \lambda^{(k)} \\ B_n = (1 + \alpha_n) F(\lambda^{(k)}) \end{cases}$$

essendo  $\epsilon_n$  ed  $\alpha_n$  numeri molto piccoli.

Tenendo conto delle (9), il sistema (8) diviene:

$$(10) \quad \begin{cases} (1 + \epsilon_n) \lambda^{(k)} = (1 + \epsilon_{n-1}) \lambda^{(k)} + \\ + \eta \varphi[(1 + \epsilon_{n-1}) \lambda^{(k)}, (1 + \alpha_{n-1}) F(\lambda^{(k)})] + \\ + \theta \Psi[(1 + \epsilon_{n-1}) \lambda^{(k)}, (1 + \alpha_{n-1}) F(\lambda^{(k)})] \\ (1 + \alpha_n) F(\lambda^{(k)}) = (1 + \alpha_{n-1}) F(\lambda^{(k)}) + \\ + \kappa \varphi[(1 + \epsilon_{n-1}) \lambda^{(k)}, (1 + \alpha_{n-1}) F(\lambda^{(k)})] + \\ + \xi \Psi[(1 + \epsilon_{n-1}) \lambda^{(k)}, (1 + \alpha_{n-1}) F(\lambda^{(k)})]. \end{cases}$$

Sviluppando la  $\varphi = \varphi(\lambda, B)$  e la  $\Psi = \Psi(\lambda, B)$  in serie di Taylor, nell'intorno del punto  $\lambda^{(k)}$ ,  $F(\lambda^{(k)})$ , tenendo conto delle (7) e trascurando i termini di ordine superiore al primo, il sistema (10) diventa:

$$(11) \quad \begin{cases} \epsilon_n = \left[ 1 + \eta \left( \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} \right)_k + \theta \left( \frac{\partial \Psi}{\partial \lambda} \right)_k \right] \epsilon_{n-1} + \\ + \frac{F(\lambda^{(k)})}{\lambda^{(k)}} \left[ \eta \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B} \right)_k + \theta \left( \frac{\partial \Psi}{\partial B} \right)_k \right] \alpha_{n-1} \\ \alpha_n = \frac{\lambda^{(k)}}{F(\lambda^{(k)})} \left[ \kappa \left( \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} \right)_k + \xi \left( \frac{\partial \Psi}{\partial \lambda} \right)_k \right] \epsilon_{n-1} + \\ + \left[ 1 + \kappa \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B} \right)_k + \xi \left( \frac{\partial \Psi}{\partial B} \right)_k \right] \alpha_{n-1} \quad (2) \end{cases}$$

Con evidenti posizioni, il sistema (11) si può scrivere nella forma:

$$(12) \quad \begin{aligned} \epsilon_n &= a \epsilon_{n-1} + b \alpha_{n-1} \\ \alpha_n &= c \epsilon_{n-1} + d \alpha_{n-1} \end{aligned}$$

essendo  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , costanti che dipendono soltanto dai parametri  $\eta$ ,  $\theta$ ,  $\kappa$ ,  $\xi$  e da  $k$ .

Per risolvere il sistema (12), si cercano le soluzioni del tipo:  $\epsilon_n = A \gamma^n$ ,  $\alpha_n = D \gamma^n$ .

Con facili sostituzioni si vede immediatamente che deve risultare:

$$(13) \quad \begin{aligned} (a - \gamma) A + b D &= 0 \\ c A + (d - \gamma) D &= 0 \end{aligned}$$

Il sistema (13) è un sistema omogeneo lineare nelle incognite  $A$  e  $D$ ; perchè esso ammetta soluzioni significative deve essere:

$$(14) \quad (a - \gamma)(d - \gamma) - c b = 0$$

L'equazione (14) definisce due valori,  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$ , in base ai quali è possibile esprimere l'integrale generale del sistema (12):

$$\epsilon_n = A_1 \cdot \gamma_1^n + A_2 \cdot \gamma_2^n$$

$$\alpha_n = D_1 \cdot \gamma_1^n + D_2 \cdot \gamma_2^n$$

essendo  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $D_1$ ,  $D_2$  opportune costanti, determinabili di volta in volta in funzione dei valori iniziali  $\epsilon_1$  ed  $\alpha_1$ .

Le successioni  $\epsilon_n$  ed  $\alpha_n$  convergono allo zero, e quindi le successioni  $\lambda_n$  e  $B_n$  tendono rispettivamente ai limiti  $\lambda^{(k)}$  e  $F(\lambda^{(k)})$ , se risulta:

$$(15) \quad \begin{aligned} |\gamma_1| &< 1 \\ |\gamma_2| &< 1 \end{aligned}$$

(2) L'indice  $k$  al piede delle parentesi tonde sta ad indicare che le derivate sono calcolate per  $\lambda = \lambda^{(k)}$  e  $B = F(\lambda^{(k)})$ .



I punti che nel piano complesso rappresentano  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$  devono quindi essere interni alla circonferenza di raggio unitario e centro nell'origine degli assi.

È chiaro che, agendo opportunamente sui parametri  $\eta$ ,  $\theta$ ,  $\kappa$ ,  $\xi$ , si possono soddisfare le condizioni (15). Ci proponiamo tuttavia di mostrare come si possa ottenere la convergenza del calcolo agendo su due soli di tali parametri.

Nel caso in cui le radici  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$  della (14) risultino complesse, si ha intanto:

$$(16) \quad (a-d)^2 + 4cb < 0$$

Inoltre, essendo:

$$\left. \begin{matrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{matrix} \right\} = \frac{a+d}{2} \pm j \sqrt{(ad-cb) - \left(\frac{a+d}{2}\right)^2},$$

le condizioni (15), che possono scriversi anche

$$\left| \gamma_1 \right|^2 < 1$$

$$\left| \gamma_2 \right|^2 < 1,$$

si traducono nella:

$$(17) \quad a d - b c < 1.$$

Dalle (11) e (12) segue che  $a$  e  $b$  sono funzioni solo di  $\eta$  e  $\theta$ , mentre  $c$  e  $d$  sono funzioni di  $\kappa$  e  $\xi$ . Si può porre anzi:

$$(18) \quad \begin{aligned} a &= l \eta + m \theta + 1 \\ b &= u \eta + v \theta \\ c &= r \kappa + s \xi \\ d &= g \kappa + h \xi + 1, \end{aligned}$$

essendo  $l$ ,  $m$ ,  $u$ ,  $v$ ,  $r$ ,  $s$ ,  $g$ ,  $h$ , costanti dipendenti dal punto di equilibrio del sistema. Le espressioni di tali costanti si ottengono immediatamente, confrontando le (11) con le (12).

Tenendo presenti le (18), è agevole comprendere come si possano soddisfare la (16) e la (17) regolando solo due dei parametri  $\eta$ ,  $\theta$ ,  $\kappa$ ,  $\xi$ . Si supponga infatti di fissare i valori  $a$  e  $b$ , cioè di fissare  $\eta$  e  $\theta$ . Variando  $\kappa$  e  $\xi$  è ovvio che si può fare assumere a  $c$  e  $d$  qualsiasi coppia di valori, purché sia soddisfatta la condizione:

$$\begin{vmatrix} r & s \\ g & h \end{vmatrix} \neq 0.$$

In particolare, sarà possibile rendere soddisfatte le (16) e (17).

Nel caso in cui  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$  siano reali, valgono relazioni analoghe a queste ultime e si applicano considerazioni simili alle precedenti, le quali presuppongono che i valori  $\lambda_1$  e  $B_1$ , assunti nel primo tentativo di calcolo, siano prossimi a  $\lambda^{(k)}$  e  $B^{(k)} = F(\lambda^{(k)})$  e mostrano come sia possibile rendere convergente il funzionamento del circuito.

Nella ricerca sperimentale degli autovalori di un dato sistema occorre assumere per  $\lambda_1$  valori via via crescenti partendo da zero e, per ciascun valore di  $\lambda_1$ , variare  $B_1$  ed agire sugli elementi di regolazione in modo da ottenere la convergenza ai successivi autovalori  $\lambda^{(1)}$ ,  $\lambda^{(2)}$ , ...

L'esperienza suggerisce la tecnica più appropriata per l'uso del modello.

## 5. — CENNI SOPRA ALCUNE ESPERIENZE.

A titolo di esempio, è stato realizzato un modello secondo lo schema descritto in precedenza, dotato di un generatore di funzioni atto allo studio di alberi con profilo del tipo indicato in fig. 4, intendendo conglobato nel profilo il carico.



Fig. 4. — Profilo dell'albero considerato

Il suo modo di funzionare è illustrato dagli oscillogrammi riportati nelle figg. 5, 6, e 7, che hanno carattere qualitativo e mostrano come si pervenga alle situazioni di regime corrispondenti alle prime due velocità critiche.

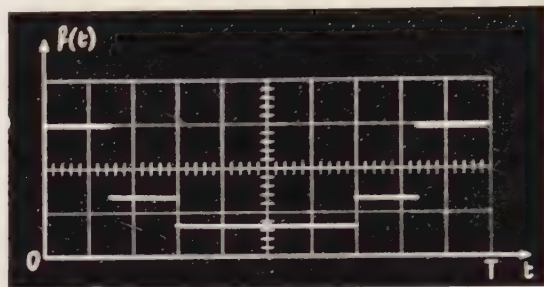


Fig. 5

La fig. 5 riproduce l'andamento della funzione  $f(t)$ , che è stata introdotta all'ingresso del moltiplicatore  $M_1$  (fig. 2). In fig. 6 è riportato l'andamento della  $y f(t)$ ,

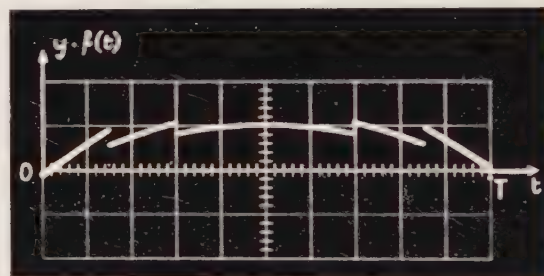


Fig. 6

all'uscita dello stesso moltiplicatore, nelle condizioni di regime relative alla prima velocità critica e ad un valore negativo di  $y'''(0)$ . Il valore della velocità critica (0, più

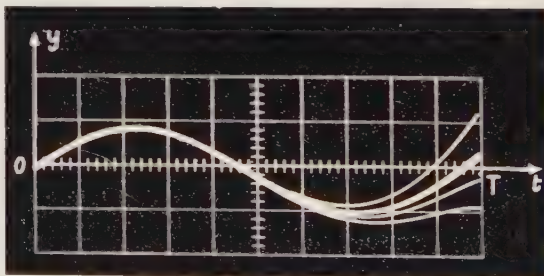


Fig. 7

precisamente, di  $\lambda^{(1)} = [\omega^{(1)}]^2$ , si misura, in scala opportuna, come tensione ad una coppia di morsetti di ingresso del moltiplicatore  $M_2$  (fig. 2).

La fig. 7 mostra alcune forme d'onda della  $y$ , associate a diversi periodi di calcolo che si succedono nel transitorio che precede la situazione di regime corrispondente alla seconda velocità critica. Per chiarezza, i diversi oscillogrammi sono stati sovrapposti in un'unica fotografia.

L'autore ringrazia il Ch.mo prof. ing. Ercole De Castro per l'assiduo interessamento al lavoro.

## 6. — APPENDICE.

È facile dimostrare che il problema considerato ammette soluzioni non nulle in corrispondenza agli autovalori. Siano infatti  $y_1(\lambda, x)$ ,  $y_2(\lambda, x)$ ,  $y_3(\lambda, x)$ ,  $y_4(\lambda, x)$  quattro integrali indipendenti della equazione (2); l'integrale generale avrà la forma:

$$(21) \quad y = A y_1(\lambda, x) + B y_2(\lambda, x) + C y_3(\lambda, x) + D y_4(\lambda, x)$$

e ciascun integrale risulta univocamente determinato quando siano noti i valori delle costanti  $A$ ,  $B$ ,  $C$  e  $D$ .

Le condizioni ai limiti (3) si traducono nelle relazioni:

$$(22) \quad \begin{cases} A y_1(\lambda, 0) + B y_2(\lambda, 0) + C y_3(\lambda, 0) + D y_4(\lambda, 0) = 0 \\ A y_1(\lambda, L) + B y_2(\lambda, L) + C y_3(\lambda, L) + D y_4(\lambda, L) = 0 \\ A y_1''(\lambda, 0) + B y_2''(\lambda, 0) + C y_3''(\lambda, 0) + D y_4''(\lambda, 0) = 0 \\ A y_1''(\lambda, L) + B y_2''(\lambda, L) + C y_3''(\lambda, L) + D y_4''(\lambda, L) = 0 \end{cases}$$

che costituiscono un sistema lineare omogeneo nelle incognite  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ , i cui coefficienti dipendono solo dal parametro  $\lambda$ .

Affinchè tale sistema ammetta soluzioni diverse dalla soluzione ovvia  $A = B = C = D = 0$ , deve essere nullo il determinante dei coefficienti  $\Delta(\lambda)$ .

È noto [2], [3], [4], che, qualora siano verificate alcune ipotesi riguardanti la continuità della  $f(t)$ , esiste una successione di autovalori:

$$\lambda^{(1)}, \quad \lambda^{(2)}, \dots, \quad \lambda^{(n)}, \dots,$$

per i quali risulta:

$$(23) \quad \Delta(\lambda^{(k)}) = 0 \quad (k = 1, \dots, n)$$

In corrispondenza ad uno qualunque di tali autovalori, le costanti  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  sono determinate a meno di un fattore arbitrario. Ciò significa che le ordinate della deformata dell'albero sono definite a meno di una costante moltiplicativa, mentre gli autovalori sono già determinati analiticamente dalla (23). Affinchè si possano rilevare sperimentalmente le velocità critiche con il modello analogico, è necessario però fare riferimento ad una qualsiasi delle deformate elastiche e ciò richiede che sia fissata un'altra condizione, arbitraria. Si può, per esempio, stabilire il valore  $y'''(0)$  ad arbitrio, il che porta alla condizione:

$$(24) \quad A y_1'''(\lambda, 0) + B y_2'''(\lambda, 0) + C y_3'''(\lambda, 0) + D y_4'''(\lambda, 0) = \text{cost.}$$

La (24), assieme alle (22) determina univocamente le costanti  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ , e quindi l'integrale della (2) che si cerca.

Risulta di conseguenza determinato anche  $y'(0)$ , che è funzione del parametro  $\lambda$  e che interviene nel funzionamento del circuito.

In quanto precede si è supposta la  $f(x)$  continua, il che significa che il profilo dell'albero è rappresentato da una linea continua.

Le conclusioni a cui si perviene in questa ipotesi sono tuttavia applicabili anche nel caso in cui il profilo presenti delle discontinuità, come accade spesso nella tecnica. Infatti, il comportamento meccanico di un albero di questo tipo non viene sensibilmente alterato se il passaggio da una sezione ad un'altra, di dimensioni diverse, avviene con continuità, se pur rapidamente.

Una tale approssimazione, perfettamente lecita, risponde, d'altra parte, alle modalità del funzionamento del modello elettrico.

Infatti la  $f(t)$  del modello elettrico, che corrisponde alla  $f(x)$  del problema meccanico, e che è rappresentata in fig. 5, non può essere discontinua, non fosse altro che per l'ampiezza limitata della banda passante dei circuiti impiegati.

Manoscritto pervenuto il 6 luglio 1961.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] O. BELLUZZI: *Scienza delle Costruzioni*. Ed. Zanichelli 1948
- [2] G. SANSONE *Equazioni differenziali nel campo reale*. Ed. Zanichelli 1941
- [3] F. TRICOMI: *Equazioni differenziali*. Ed. Einaudi 1948
- [4] E. DE CASTRO: *Complementi di Analisi matematica con applicazioni all'Elettrotecnica ed alle Comunicazioni Elettriche*. Ed. Zanichelli, 1961
- [5] G. BASILE: *Modello analogico per la ricerca automatica degli autovalori relativi ad una notevole categoria di equazioni differenziali*. «L'Elettrotecnica» n. 5-1961



# MOTORI PRIMI TERMICI NELL'ANNO 1960

MARIO MEDICI (\*)

*Vengono poste in rilievo le realizzazioni più salienti e le tendenze, delineatesi durante l'anno 1960, nell'ulteriore evoluzione delle diverse classi di motori primi termici. Vengono illustrati gli sviluppi intervenuti nei vari settori d'impiego, con particolare riferimento alla produzione di energia con blocchi termoelettrici, in Italia, nel periodo di tempo oggetto della presente rassegna.*

Nell'evoluzione dei criteri di scelta per le caratteristiche di funzionamento dei blocchi termoelettrici a vapore si sono venute delineando, durante l'anno 1960, tre tendenze. La prima di esse concerne la ricerca dei valori ottimali per la potenzialità unitaria di questi blocchi. La seconda riguarda un'analisi, alquanto più approfondita, sulle possibilità e sulla convenienza operative del passaggio a funzionamenti a pressioni ipercritiche iniziali. La terza di esse riguarda l'indirizzo progettistico verso un ulteriore aumento delle aree da assegnare alle sezioni di scarico del vapore dai palettaggi di B.P. dei turbomotori a vapore a condensazione, compatibilmente con gli accrescimenti ancora possibili per le lunghezze radiali delle ultime corone palari e con gli inerenti aumenti per la velocità periferica esterna di dette corone palari.

Il valore della potenza massima, ottenibile da un turbomotore a vapore funzionante a condensazione, è legato alle capacità di smaltimento del vapore, con moderate velocità di flusso e limitate perdite per energia cinetica allo scarico, dalle corone palari dell'ultimo elemento della macchina. La portata di vapore smaltibile attraverso  $x$  corone palari, operanti con scarichi in parallelo, è espressa dal prodotto di  $x$  per l'area di flusso di ciascuna corona palare ( $A_z = \pi D_z \cdot l_z$ ) e per il valore del rapporto fra la velocità assoluta di flusso allo scarico ed il volume specifico del vapore allo scarico dell'ultimo elemento del turbomotore. Ad esempio, per  $n = 3\,000$  giri/min,  $D_z/l_z = 2,66$ , con  $l_z = 915$  mm sono ottenibili le seguenti aree di smaltimento del vapore dall'ultimo elemento di B.P. del turbomotore:

con $x = 2$ (doppio scarico):	
Area complessiva di scarico . . . . .	2.7,16 = 14,32 m <sup>2</sup>
con $x = 3$ (triplo scarico):	
Area complessiva di scarico . . . . .	3.7,16 = 21,48 m <sup>2</sup>
con $x = 4$ (quattro scarichi):	
Area complessiva di scarico . . . . .	4.7,16 = 28,64 m <sup>2</sup>
con $x = 6$ (sei scarichi):	
Area complessiva di scarico . . . . .	6.7,16 = 43,90 m <sup>2</sup>
con $x = 8$ (otto scarichi):	
Area complessiva di scarico . . . . .	8.7,16 = 57,28 m <sup>2</sup>

La macchina può ricevere dislocazione tandem-compound sino alla soluzione con quattro scarichi del vapore all'impianto di condensazione (due corpi di B.P. ciascuno con scarico bilaterale); oltre, occorre la dislocazione composito-incrociata, con tre oppure con quattro corpi di B.P., ciascuno a scarico bilaterale.

In un suo studio sull'argomento <sup>(1)</sup> chi scrive ebbe occasione, alcuni anni or sono, di porre in evidenza la circostanza che nella valutazione tecnico-economica di quale

sia il valore ottimale per l'area complessiva di scarico del vapore dall'ultimo elemento di un turbomotore a vapore a condensazione esiste una differenza per quanto attiene alla situazione europea rispetto a quella nordamericana e la differenza è dovuta alla diversità delle incidenze, sul piano tecnico e su quello economico, dei prezzi della calorificabilità-combustibile e della mano d'opera negli USA e nell'Europa Occidentale, sicché in quest'ultima maggiore è l'interesse d'adottare delle maggiori sezioni per lo scarico di vapore in esame, con l'inerente limitazione per la perdita termica corrispondente all'energia cinetica residua.

L'ultimo elemento dei turbomotori a vapore a condensazione è chiamato a funzionare con rapporti delle pressioni, che mutano di valore per le diverse condizioni operative; la pressione a valle di questo elemento dipende sostanzialmente dal valore della temperatura dell'acqua condensatrice, disponibile nei diversi periodi dell'anno, dal valore del volume specifico del vapore allo scarico del turbomotore e dalle caratteristiche geometriche del palettaggio.

Il riassetto della teoria delle turbomacchine a fluido, in base ad un'analisi più approfondita del loro funzionamento ed all'aggiornamento delle conoscenze sul comportamento degli *strati limiti*, che sono la sede della maggior parte delle perdite d'energia <sup>(2)</sup>, con un esame critico comparativo della forma dei diagrammi triangolari delle velocità lungo tutta la lunghezza palare e, cioè, dalla radice sino alla periferia esterna, per le corone palari giranti, ha condotto recentemente <sup>(3)</sup> a rivedere ed a perfezionare i possibili criteri di proporzionamento, specialmente per quanto attiene ai palettaggi della B.P. ed, in particolare, all'ultimo elemento del turbomotore.

In definitiva, è emersa una netta superiorità, per quanto riguarda il rendimento del palettaggio, dell'adozione di un *funzionamento con grado di reazione uguale a 0,5 e di valore invariabile dalla radice alla periferia della corona palare*, ossia nella direzione radiale dei palettaggi assiali. Bisogna tendere all'ottenimento di diagrammi triangolari delle velocità effettive, che siano *simmetrici* (cfr. la fig. 1).

Ne discende la conseguenza che, per lo meno per gli ultimi elementi di B.P. del turbomotore, scompare la differenza d'un tempo fra macchine operanti con bassi gradi di reazione (impropriamente denominate da molti Autori turbine ad azione) e turbomotori operanti con grado di reazione medio uguale a 0,5, secondo l'originaria, geniale intuizione di Sir Charles Algernon Parsons.

Va tenuto altresì presente il fatto che, nei palettaggi di B.P. degli attuali grandi turbomotori a vapore, le velocità della corrente di vapore possono superare il *valore critico* ossia il *limite del suono* (velocità di propagazione delle onde sonore nel vapore).

Dal complesso degli studi più recenti, sia in campo fluidodinamico <sup>(2)</sup> e <sup>(3)</sup>, sia relativi al proporzionamento strutturale ed agli inerenti problemi costruttivi, si è appalesata l'opportunità di raggiungere un accordo per una

(\*) Prof. Ing. Mario Medici, Direttore dell'Istituto Macchine dell'Università di Padova.

<sup>(1)</sup> Cfr. dell'A.: *Considerazioni sui più recenti indirizzi nella progettazione dei turbomotori a vapore*. - Rivista «Il Calore», 1959, n. 4.

<sup>(2)</sup> Cfr. dell'A.: *Contributo al perfezionamento di una teoria pluridimensionale per le turbomacchine a fluido*. - «La Ricerca Scientifica», anno 28°, n. 6, giugno 1958.

<sup>(3)</sup> Cfr. dell'A.: *Aggiornamento e riassetto della teoria delle Turbomacchine*. - «La Ricerca Scientifica», anno 30°, n. 10, ottobre 1960.

unificazione delle lunghezze palari, da impiegare per gli ultimi elementi di B.P. dei turbomotori a vapore, specialmente di quelli delle costruzioni unificate secondo le raccomandazioni degli IEC - Preferred Standards. La gamma

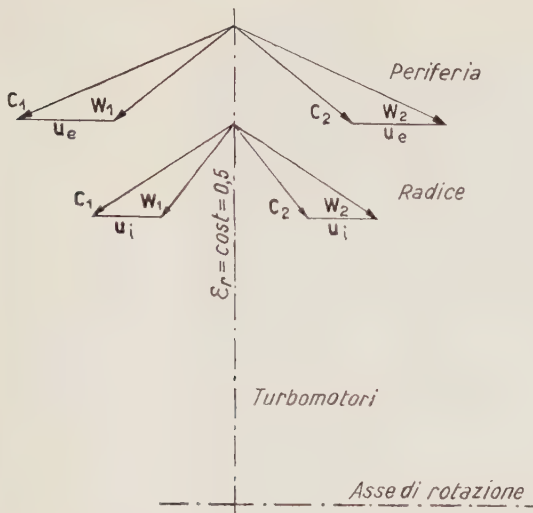


Fig. 1. — Diagrammi triangolari delle velocità per turbomotori a palettaggi assiali, funzionanti con grado di reazione uguale a 0,5, costante lungo la lunghezza palare dalla radice alla periferia esterna.

dei valori delle lunghezze unificate potrebbe essere, per le costruzioni europee con velocità di rotazione  $n = 3\,000$  giri/min, la seguente:

$$l_z = \begin{cases} 510 - 610 - 660 - 736 \text{ (oppure } 760 \text{ mm)} - \\ 812 - 915 \text{ mm} \\ 20 - 24 - 26 - 29 \text{ (oppure } 30 \text{ inches)} - 32 - \\ 36 \text{ inches} \end{cases}$$

È auspicabile che quest'accordo venga presto raggiunto.

In linea generale può ritenersi che un raddoppio di valore per la potenza unitaria dei turbomotori a vapore può dare una riduzione, per le seguenti condizioni di funzionamento: pressione  $p_1 = 168,7$  ate (= 2 400 psig);  $t = 566^\circ\text{C}$ ;  $t_3 = 540^\circ\text{C}$ , con dislocazione composita-incrociata su due alberi ruotanti l'uno con 3 600 giri/min e l'altro con 1 800 giri/min e per le quali sono state studiate due soluzioni per quanto riguarda lo scarico del vapore al condensatore: la prima con quattro scarichi in parallelo e con corone palari aventi la lunghezza radiale di 120 mm; la seconda con otto scarichi in parallelo e con corone palari aventi la lunghezza radiale di 712 mm.

Dopo l'entrata in servizio di prova, durante il mese di novembre 1960, di un blocco a vapore da 500 MW nella Widows Power Station della Tennessee Valey Authority, negli U.S.A., sono state dalla stessa TVA passate alcune altre vistose ordinazioni per blocchi termoelettrici a vapore e, fra esse, quella di un altro blocco da 500 MW per la stessa Widows Power Station.

La TVA ha attualmente in corso d'esame alcune offerte per un blocco a vapore da 880/900 MW, da porre in servizio entro tre anni, per le seguenti condizioni di funzionamento: pressione  $p_1 = 168,7$  ate (= 2 400 psig);  $t = 566^\circ\text{C}$ ;  $t_3 = 540^\circ\text{C}$ , con dislocazione composita-incrociata su due alberi ruotanti l'uno con 3 600 giri/min e l'altro con 1 800 giri/min e per le quali sono state studiate due soluzioni per quanto riguarda lo scarico del vapore al condensatore: la prima con quattro scarichi in parallelo e con corone palari aventi la lunghezza radiale di 120 mm; la seconda con otto scarichi in parallelo e con corone palari aventi la lunghezza radiale di 712 mm.

Il condensatore di vapore ha il bacino di raccolta del condensato suddiviso in più reparti e ciascun reparto è, a sua volta, suddiviso in vari scomparti, secondo le direttive di proporzionamento più recenti in materia.

Alla General Electric è stato passato l'ordine, durante l'anno 1960, per la fornitura di un blocco a vapore da 650 MW, da installare pure negli U.S.A.

Per quanto riguarda la potenzialità complessiva degli impianti termoelettrici, sembra che, attualmente, la centrale con la maggior potenza installata sia quella nord-americana di Kingston della TVA, che totalizza i 1 440 MW su nove blocchi, dislocati in posizioni affiancate.

Per quanto attiene ai blocchi a vapore funzionanti con pressioni ipercritiche, dopo l'impianto di Avon della Cleveland Electric Ill. Co. con blocco formato con un generatore di vapore da 775 t/h e con un turbomotore a vapore da 375 MW, funzionante con 245 ate,  $593^\circ\text{C}/565^\circ\text{C}$ , è entrato in servizio, durante l'anno 1960, sulla rete dell'APE dell'Indiana e Michingam Electric Co., un blocco termoelettrico da 500 MW nella Breed Power Station sul fiume Wabash. Questo blocco ha un generatore di vapore ad attraversamento meccanico, del sistema Benson, della potenzialità di 1 360 t/h, che funziona con combustione pressurizzata. Il generatore, ad una sola camera di combustione, è alto 81 m ed il suo camino raggiunge l'altezza di 176 m sul suolo. Le pompe di alimentazione sono azionate mediante turbomotori a vapore.

L'ingombro unitario di questo blocco è uguale a  $0,337 \text{ m}^3/\text{kW}$  e quello in pianta a  $0,009 \text{ m}^2/\text{kW}$ . Con due blocchi di potenza metà (250 MW) questi ingombri sarebbero stati rispettivamente di  $0,55 \text{ m}^3/\text{kW}$  e di  $0,014 \text{ m}^2/\text{kW}$ .

Il costo unitario di questo blocco è stato dell'ordine delle 90 000 Lire/kW.

Sui due alberi vengono sviluppate uguali potenze; le due porzioni del turbogruppo, che ha naturalmente dislocazione composita-incrociata, hanno una lunghezza di 34 m ed una larghezza di 6,4 m ciascuna. Il consumo termico specifico previsto è di  $2\,150 \text{ kcal/kWh}$ , pari ad un rendimento termico di blocco del 40 %.

Un analogo blocco termoelettrico da 500 MW sta per entrare in servizio nella Philip Sporn Power Station della Ohio Power Co.; le sue condizioni di funzionamento sono:  $p_1 = 245$  ate,  $t_1 = t_3 = t_5$  (due risurriscaldamenti del vapore) =  $565^\circ\text{C}$ .

I blocchi termoelettrici aventi potenzialità dell'ordine dei 160 MW sono divenuti d'adozione corrente nell'Europa Occidentale; quelli da 200 MW rappresentano il valore medio della potenzialità dei blocchi nordamericani installati durante l'anno 1960.

I primi due blocchi termoelettrici a vapore britannici, operanti a pressione iniziale ipercritica e con generatori di vapore l'uno del sistema Benson, l'altro del sistema Sulzer, sono stati ordinati durante l'anno 1960 per la Drakelow Power Station-C presso Burton -On-Trent. Sono blocchi da 375 MW con turbogruppi del sistema English Electric a quattro corpi dislocati in tandem e con quattro scarichi in parallelo del vapore al condensatore, con  $t_1$  e  $t_3 = 565^\circ\text{C}$ .

Il piano settennale dell'URSS sino all'anno 1965, prevede la costruzione di 28 blocchi termoelettrici da 300 MW ciascuno, funzionanti con vapore a 250 ate e con  $t_1 = 580^\circ\text{C}$  e  $t_3 = 565^\circ\text{C}$ .

Con le velocità periferiche esterne dell'ultimo elemento del turbomotore a vapore si è salito da valori dell'ordine dei 470 m/s a valori di 540 e più m/s.

Nella centrale termoelettrica francese di Lacq-Artix, durante l'anno 1960, sono entrati in servizio altri due blocchi a vapore, funzionanti con gas naturale e con turbina a distensione di gas, in aggiunta al blocco installato nell'autunno dell'anno precedente. I generatori di vapore hanno la potenzialità di 360/400 t/h e producono vapore a 132 ate,  $542/542^\circ\text{C}$ ; i turbogruppi funzionano con  $p_1 = 127$  ate e con  $t_1 = t_3 = 540^\circ\text{C}$ . Il gas naturale di Lacq ha un potere calorifico superiore di  $9\,620 \text{ kcal/m}^3$ .

In Austria, durante l'anno 1960, è entrato in servizio nell'impianto termoelettrico di Korneuburg il primo di due blocchi misti a gas ed a vapore da 27 MW ciascuno, funzionanti anch'essi con gas naturale. Si tratta d'un impianto combinato a gas ed a vapore con caldaie a gas di scarico e con postbruciatore di gas naturale.

Nel Belgio è entrato in regolare servizio, durante l'an-



no 1960, il blocco termoelettrico a vapore di Baudour da 115 MW. Il suo generatore di vapore è del tipo Sulzer ad attraversamento meccanico, operante a 170 ata, 600°/570 °C ed alimentato, con acqua alla temperatura di

Attualmente si trovano in servizio industriale nel mondo ben 30 blocchi termoelettrici a vapore, che funzionano con una temperatura iniziale dell'ordine dei 595 °C.

Durante il 1960 sono state ultimate tre grandi centrali

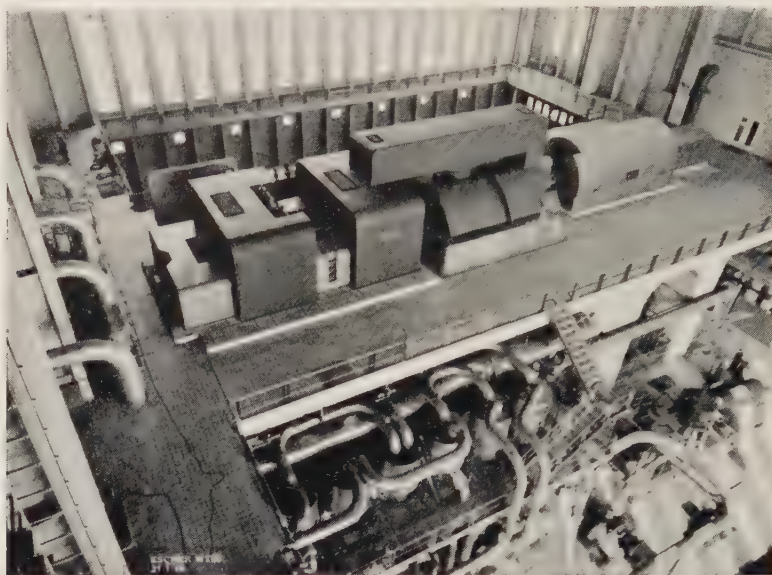


Fig. 2. — Il blocco termoelettrico da 115 MW dell'Escher Wyss per la centrale belga di Baudour, entrato in servizio nel mese di febbraio 1960. La temperatura iniziale del vapore è di 600 °C.

253 °C, e con carbone polverizzato contenente il 40 % di ceneri ed il 15 % di umidità. Vi è stato raggiunto un rendimento termico dell'ordine del 92,5 %. Il turbomotore a vapore è a tre corpi e con tre scarichi del vapore al con-

termoelettrici in Siberia per lo sfruttamento di grandi giacimenti carboniferi: Nazarovskaia, nella quale verrà utilizzato, con estrazione a cielo aperto, un filone carbonifero dell'altezza media di 50 m, Tom-Ustinsk e Bie-

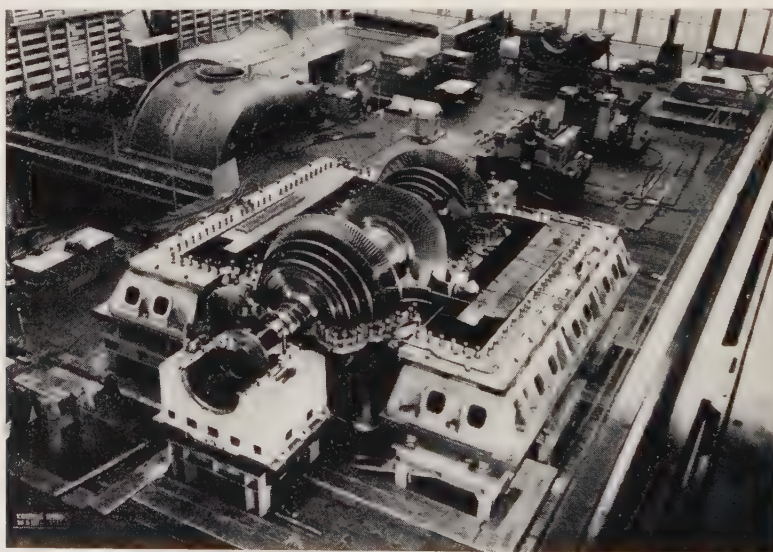


Fig. 3. — Il corpo di BP con tre scarichi al condensatore del turbomotore Escher Wyss del blocco di Baudour da 115 MW.

densatore (cfr. le figg. 2 e 3) sistema Escher Wyss per 165 ata, 595°/565 °C. Il consumo termico specifico di questo blocco funzionante con otto gradini di rigenerazione termica e con  $t_a = 253$  °C è dell'ordine delle 2 150 kcal/kWh ed il rendimento termico del 40 %. Il blocco in oggetto ha già prodotto 111 Mio kWh in oltre 1 400 ore di servizio a partire dal giorno 8-4-1960.

lovskaia, nella quale il carbone verrà estratto, invece, con metodo idrodinamico. Si tratta di blocchi a vapore della potenzialità di 200 e 300 MW.

Nel Canada, nella regione di Toronto, è entrato in servizio un blocco termoelettrico a vapore di 200 MW (Richard L. Hearn Power Station).

Sempre durante l'anno 1960 è entrata in servizio nella



Svezia la prima sezione della centrale termoelettrica in caverna di Stenungsund, situata sulla costa occidentale svedese a nord di Gothenburg e vi si è completata l'installazione di una seconda sezione, anch'essa della stessa potenza di 160 MW. L'impianto, allorchè sarà completo (5 sezioni) avrà una potenza installata di 750 MW e sarà il più potente della Svezia ed il più grande impianto termoelettrico in caverna del Mondo. La sua costruzione venne iniziata nell'anno 1955.

I primi due blocchi sono stati ricavati completamente in escavazione in roccia (cfr. la fig. 4); le sole parti visibili all'esterno sono i due camini di smaltimento dei prodotti della combustione, la cui cima è ad 85 m sul livello del suolo ed a 150 m sul livello del mare. L'escavazione ha richiesto la rimozione di  $1,2 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> di roccia per i primi due blocchi e ciascuno dei due spazi in caverna (cfr. la fig. 4) è lungo 137 m, largo 21 m ed alto 30 m e comprende una sezione di ventilazione, il generatore di vapore (cfr. la fig. 5), i corpi del turbomotore (A.P. e B.P.), l'elettrogeneratore ed il trasformatore elettrico di blocco.

La sezione di ventilazione è stata dimensionata per un ricambio d'aria di 1 260 t/h; il depolverizzatore dei fumi tratta una portata di 908 000 m<sup>3</sup>/h e li purifica, in media, per il 90 % dai residui solidi volatili. Ciascun generatore di vapore (cfr. la fig. 5) consuma 35 t/h di olio combustibile pesante (Bunker C) e produce 450 t/h di vapore surriscaldato a 530 °C; la temperatura del risurriscaldato è anche di 530 °C. L'A.P. del turbomotore (cfr. la fig. 6) sviluppa 39 MW; la porzione di B.P. (cfr. la fig. 7) 110 MW ad  $n = 3\,000$  giri/min. L'elettrogeneratore è refrigerato con idrogeno.

In Italia, durante l'anno 1960, sono entrati in servizio, tre blocchi termoelettrici a vapore da 75 MW (potenza efficiente) ad Augusta (Sicilia) della Soc. Tifeo, tre blocchi da 68 MW a Bari, della SGEP, due blocchi da 70 MW

a Porto Corsini, della STV, un blocco da 140 MW a Tavazzano della Soc. STEI ed un blocco da 160 MW a Ge-

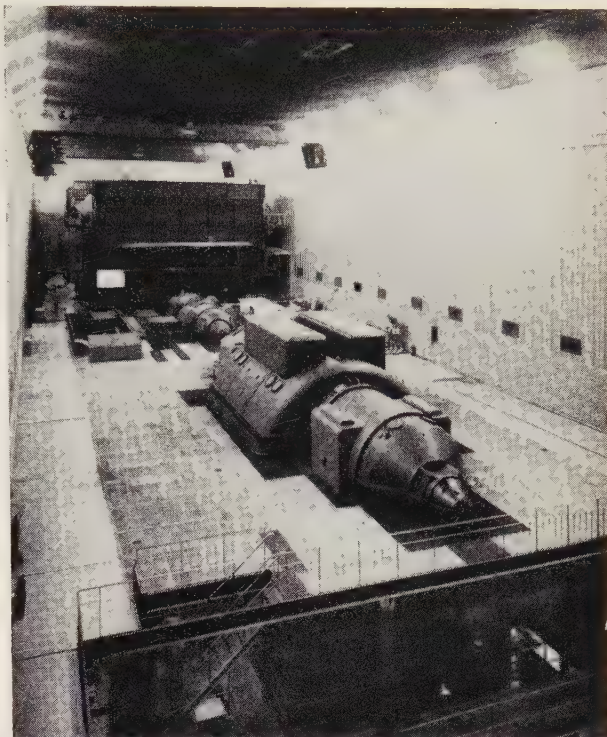


Fig. 4. — Un blocco a vapore da 160 MW della STAL, nella centrale in caverna di Stenungsund in Svezia.

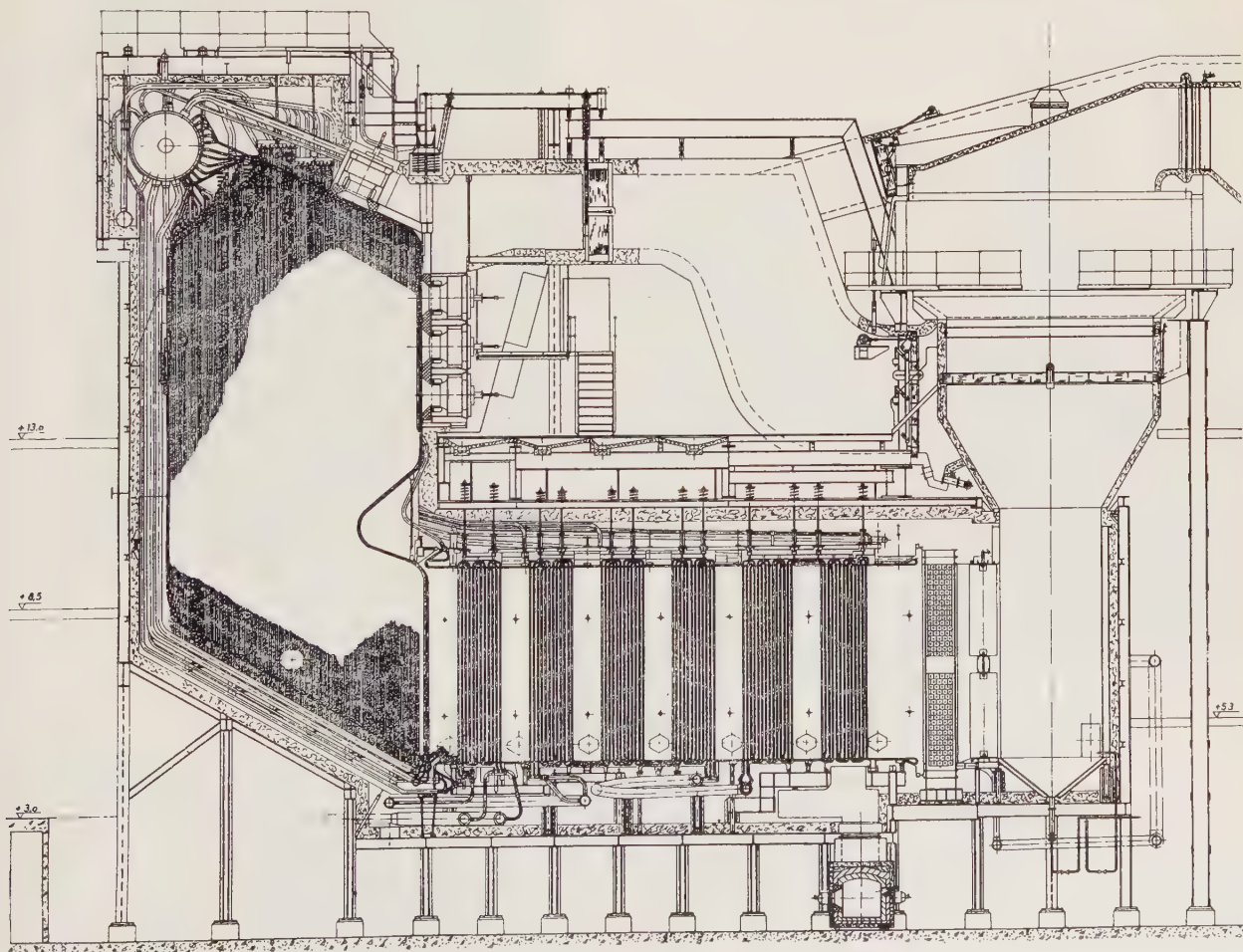


Fig. 5. — La sezione principale del generatore di vapore del blocco a vapore in caverna di cui alla fig. 4



nova della Società Edisonvolta. Sono prossimi ad entrare in servizio i due blocchi da 150 MW di Napoli-Levante della SME ed un blocco da 70 MW a Turbigo della Società Vizzola, mentre si trovano in fase di costruzione o di montaggio due blocchi da 110 MW ciascuno a Termini Imerese della TIFEO-SGES, uno da 12 MW a Trapani, ed i gruppi di minore potenzialità a Larderello-Lago da 18,5 MW, a Portoferraio da 3,5 MW ed a Larderello-Bagnore da 3 MW. Sono in fase d'allestimento i blocchi termoelettrici a vapore da 320 MW per La Spezia della So-

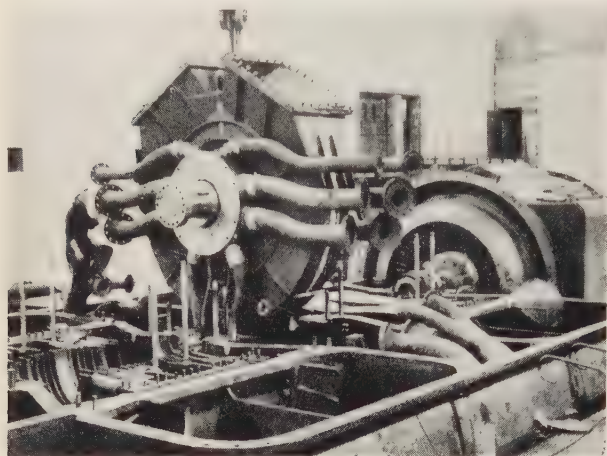


Fig. 6. — La porzione d'A.P. del turbomotore STAL, del blocco a vapore, situato in caverna a Stenungsund (parte a palettaggio radiale).

cietà Edisonvolta ed il turbomotore a vapore per la centrale elettronucleare Enrico Fermi della SELNI, negli stabilimenti della Società Franco Tosi a Legnano, ed i 2 turbomotori a vapore da 40 MW, a risurriscaldamento del vapore ed a condensazione, per lo stabilimento di Brindisi della Società Montecatini, con  $p_1 = 126,5$  ata,

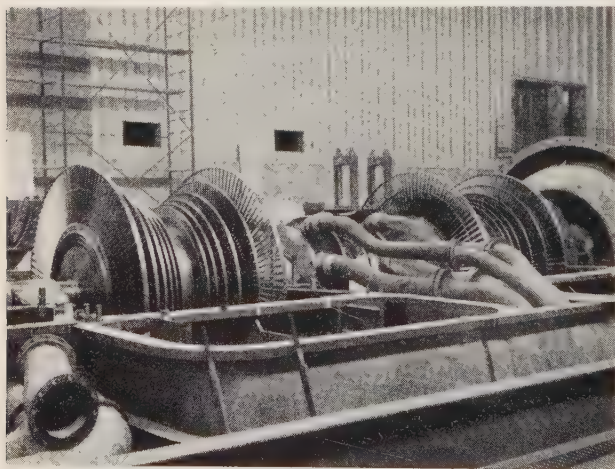


Fig. 7. — Veduta fotografica interna dei turbomotori a vapore STAL, dei blocchi termoelettrici di Stenungsund in Svezia,

$t_1 = t_3 = 525^\circ\text{C}$  e  $W_1 = 126,5$  t/h ad  $n = 3000$  giri/min presso la Escher Wyss a Zurigo. Per lo stesso stabilimento della Montecatini a Brindisi, la Escher Wyss sta ultimando la costruzione di due turbogruppi a vapore a contropressione e ad estrazione regolata da 20 MW ciascuno, i cui dati di funzionamento sono:  $p_1 = 110$  ata,  $t_1 = 520^\circ\text{C}$ ;

$p_{der} = 21$  ata e la contropressione uguale a 5,5 ata.

Il corpo di A.P. dei turbomotori Tosi-Westinghouse da

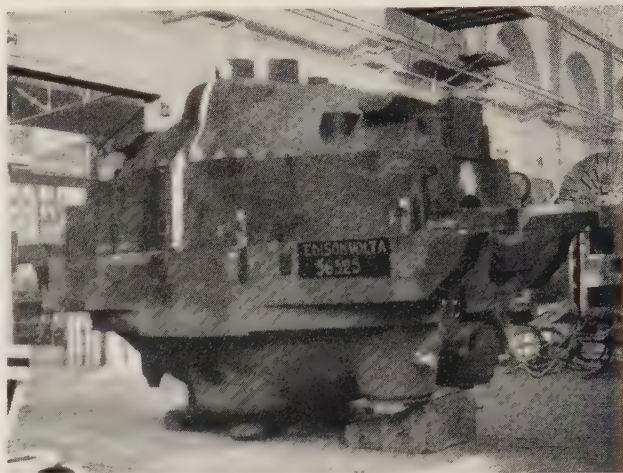


Fig. 8. — Veduta fotografica del corpo di AP dei turbomotori Tosi da 320 MW per i blocchi termoelettrici in montaggio a La Spezia, in lavorazione nello stabilimento di Legnano.

320 MW per la centrale termoelettrica di La Spezia, di cui la fig. 8 mostra una veduta fotografica negli stabilimenti Tosi, ha richiesto un'esecuzione interna di particolare accuratezza e, per potere sorvegliare ed assistere



Fig. 9. — Il controllo televisivo dell'operazione di alesatura interna del corpo di AP del turbomotore Tosi da 320 MW per i blocchi a vapore di La Spezia, nello stabilimento Tosi di Legnano.

gli operai, che vi lavoravano nell'interno, è stato messo a punto un interessante dispositivo televisivo, del quale la fig. 9 dà una suggestiva veduta fotografica, nonché un'adeguata apparecchiatura per assicurare una sufficiente aereazione all'interno (cfr. la fig. 10).

La fig. 11 è un'interessante veduta fotografica del montaggio del turbogruppo Siemens da 140 MW a tre corpi e con triplice scarico del vapore al condensatore, nella centrale di Tavazzano II, che è stato collaudato ed è entrato in servizio sulla rete della STEI nell'anno 1960.



La prima esecuzione in Italia, ad opera della Franco Tosi, di un generatore di vapore ad attraversamento meccanico, del sistema Sulzer, è stata quella del generatore, della potenzialità di 240 t/h, per  $p = 135$  ata, raffigurato

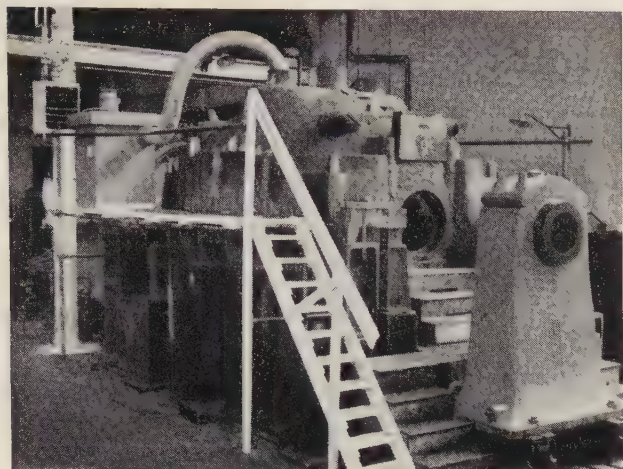


Fig. 10. — L'apparecchiatura per assicurare una sufficiente aerazione all'interno del corpo d'AP del turbomotore in lavorazione di cui alle figg. 8 e 9.

nella sua sezione principale nella fig. 12, che è stato montato durante l'anno 1960 nella centrale di Turbigo della Società Vizzola e che vi alimenta un turbogruppo Ansaldo-GECO da 70 MW ad  $n = 3\,000$  giri/min.

La fig. 13 mostra la sezione longitudinale del generatore di vapore Tosi-CE del blocco di Genova dell'Edison-volta, entrato in servizio nell'anno 1960, che ha una produzione massima continua dell'ordine delle 476 t/h, una pressione di timbro di 165 ata e  $t_1 = t_3 = 540^\circ\text{C}$ . È attrezzato sia per la combustione a carbone polverizzato e sia

efficiente con combustione ad olio combustibile di 370 t/h ciascuno, sono stati allestiti dalla Franco Tosi per i due

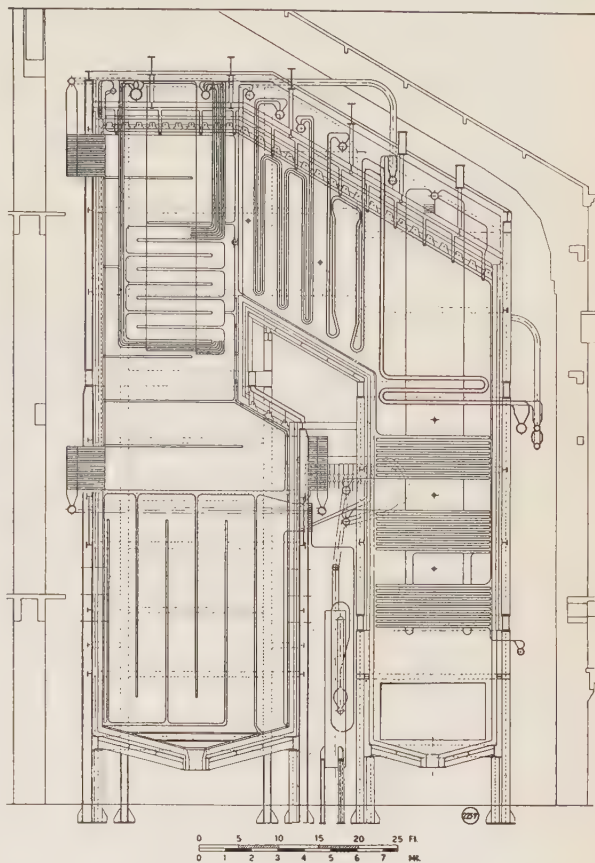


Fig. 12. — Il generatore di vapore monotubolare ad attraversamento meccanico sistema Tosi-Sulzer per il blocco termoelettrico di Turbigo da 70 MW della Società Vizzola (240 t/h, 135 ata).

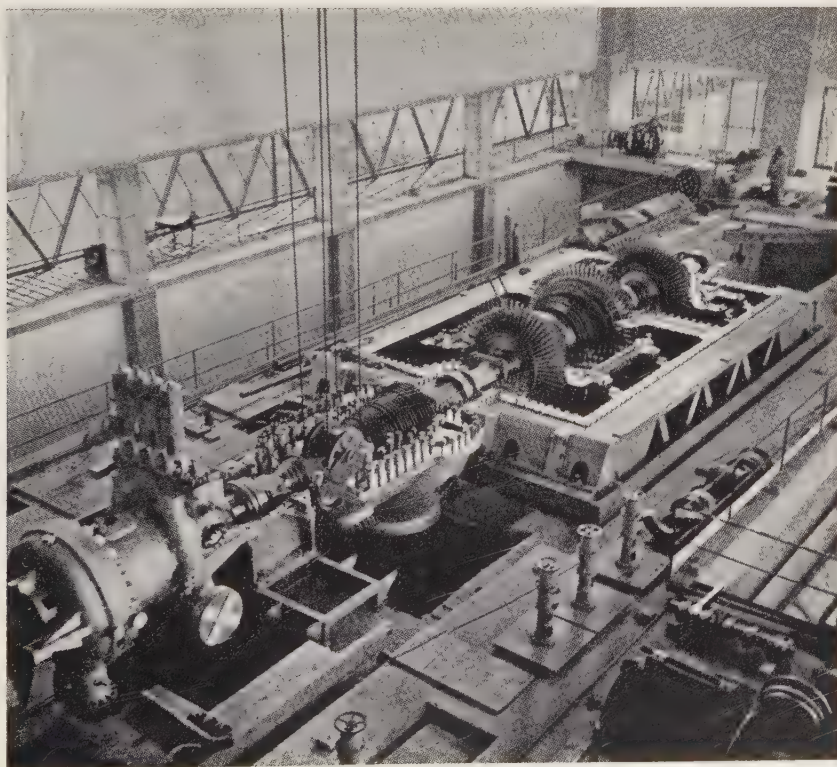


Fig. 11. — Il montaggio del gruppo da 140 MW Siemens nella centrale di Tavazzano II della STEI.

per la combustione ad olio combustibile. Due generatori analoghi ma aventi ciascuno una produzione massima

blocchi termoelettrici in corso di installazione nella centrale di Termini Imerese della Società TIFEO.



I generatori di vapore in corso di montaggio nei blocchi termoelettrici di La Spezia dell'Edisonvolta sono anch'essi generatori Tosi-CE a circolazione meccanica controllata ed a surriscaldamento del vapore. Hanno una

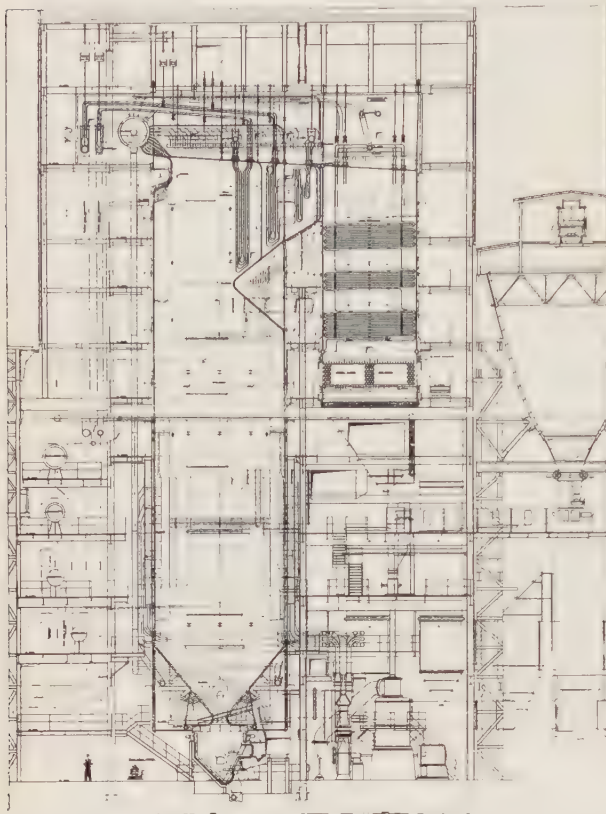


Fig. 13. — Il generatore di vapore sistema Tosi-CE, da 476 t/h per il blocco termoelettrico di Genova dell'Edisonvolta.

produzione massima continua di 1 000 t/h ciascuno, pressione di timbro di 200 ata e del vapore surriscaldato alla presa di 179 ata. La temperatura del surriscaldato è di 568 °C e quella del risurriscaldato di 540 °C; la temperatura dell'acqua d'alimento è di 275 °C. Sono attrezzati sia per la combustione a carbone polverizzato e sia per la combustione con olio combustibile.

unità Tosi-CE da 240 t/h per la centrale di Porto Corsini della STV, un generatore di vapore da 100 t/h per lo stabilimento di Marghera della SICEDISON ed uno da 60 t/h per quello di Priolo (Siracusa) della SINCAT, entrambi Tosi-VU, un generatore Tosi-CE da 80 t/h nella centrale di Sermide del locale zuccherificio ed uno da 40 t/h della Tosi per la centrale termoelettrica di Fano, due generatori di vapore Tosi-CE da 73 t/h per la centrale termoelettrica dello stabilimento petrolchimico di Ragusa dell'A.B.C.D. e numerosi altri di minore potenzialità.

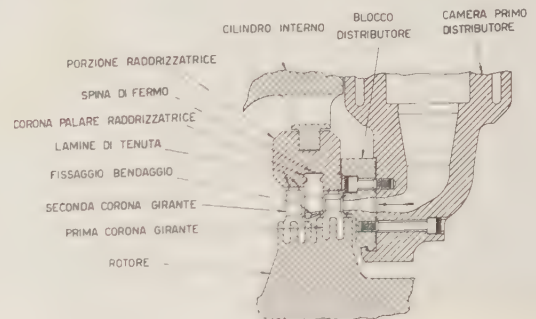


Fig. 14. — Il primo elemento a due gradini di velocità del turbomotore Tosi-Westinghouse da 160 MW del blocco termoelettrico di Genova.

L'elemento di testa del corpo di A.P. degli attuali turbomotori a vapore è spesso un elemento Curtis a due gradini di velocità, di costruzione particolarmente robusta e con elementi di tenuta, parte in direzione assiale, parte in direzione radiale, dislocati in posizioni adatte (cfr. la fig. 14 che è relativa al turbomotore Tosi da 160 MW della centrale di Genova dell'Edisonvolta).

Con segmenti di tenuta in direzione radiale vengono contenute le perdite volumetriche nei palettaggi della B.P.; la fig. 15 si riferisce, ad esempio, ad una delle due porzioni del palettaggio a flusso bilaterale del corpo di B.P. del turbomotore Tosi da 160 MW, di cui alla fig. 16, che scarica alla pressione di 0,052 ata in un condensatore di vapore del sistema radial-flow, degasante, a due percorsi per l'acqua condensatrice e suddiviso in due metà, operanti in parallelo (fig. 17). La superficie trasmettente di questo condensatore è di 8 500 m<sup>2</sup> e la portata d'acqua condensatrice di 17 mila m<sup>3</sup>/h (acqua a 19,50 °C).

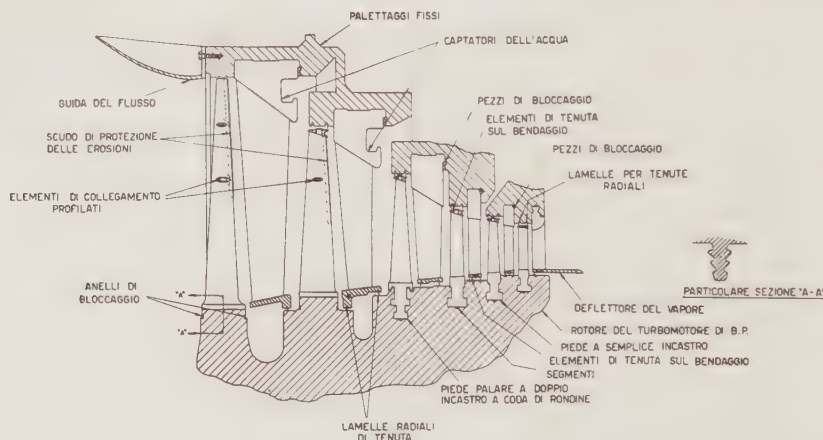


Fig. 15. — Il palettaggio di BP del turbomotore Tosi di cui alla fig. 15.

Durante l'anno 1960 sono entrati in servizio in Italia numerosi altri generatori di vapore per produzione d'energia termoelettrica. Oltre alle tre unità Tosi-CE da 240 t/h per la centrale d'Augusta della TIFEO, alle due

Le pompe dell'acqua condensatrice sono pompe a girante elico-assiale, ad asse verticale (cfr. la fig. 18), e con palettaggio raddrizzatore-diffusore. I cuscinetti dei supporti sono rivestiti in gomma e lubrificati da acqua. Gli

alberi verticali della pompa e del motore elettrico d'azionamento sono collegati mediante un giunto rigido.

Cospicui sono stati i perfezionamenti costruttivi attuati negli ultimi anni nei turbomotori a vapore, aventi caratteristiche spinte di funzionamento.

una porzione del vapore, che si scarica dal corpo d'A.P., attuato dall'Escher Wyss nei turbomotori da 115 MW ad  $n = 3\,000$  giri/min del blocco termoelettrico di Baudour in Belgio, che opera con vapore surriscaldato a  $595^{\circ}\text{C}$  e risurriscaldato a  $565^{\circ}\text{C}$ .

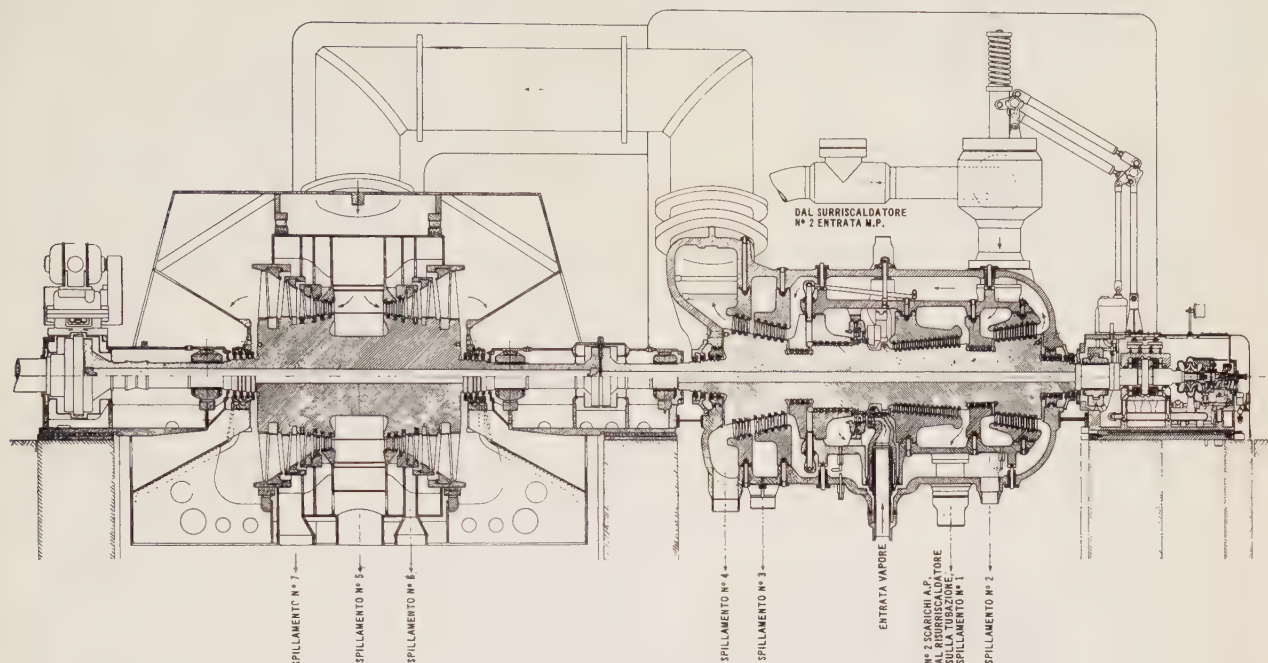


Fig. 16. — La sezione longitudinale del turbomotore Tosi da 160 MW del blocco termoelettrico di Genova della Edisonvolta.

Basterà menzionare i sistemi di raffreddamento delle porzioni più calde dei corpi d'A.P., mediante i quali è stato possibile adoperare leghe d'acciaio a struttura ferritica in luogo delle leghe a struttura austenitica, molto

notevoli sono stati i miglioramenti per tutte le tenute, sia quelle fra le corone palari giranti e quelle fisse (cfr. le figg. 14 e 15), sia quelle dei manicotti a labirinti (cfr. la fig. 16), formate con serie di lamelle sottili, che consen-

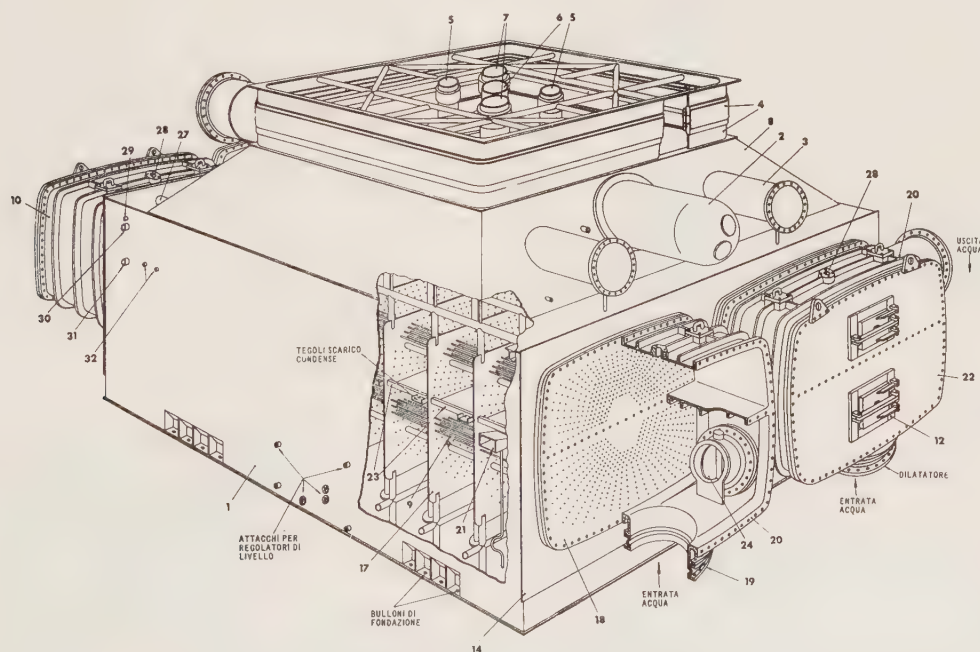


Fig. 17. — Il condensatore di vapore del blocco termoelettrico da 160 MW di Genova.

più costose ed aventi proprietà termiche meno favorevoli, anche con temperature iniziali del vapore dell'ordine dei  $595^{\circ}\text{C}$ . La fig. 19 mostra, ad esempio, il sistema di refrigerazione a tubi, dislocato in parallelo con il circuito di vapore del risurriscaldatore e che viene attraversato da

tono di ridurre a bassissimi valori gli effettivi giuochi costruttivi e le sfuggite di vapore dai diversi labirinti. Mediante due condotti, dislocati nella porzione inferiore della cassa, il vapore sfuggente viene convogliato al condensatore del vapore di sbarramento. Nella camera, da cui



partono i due condotti predetti, viene mantenuta una pressione regolata a circa 0,2 ata.

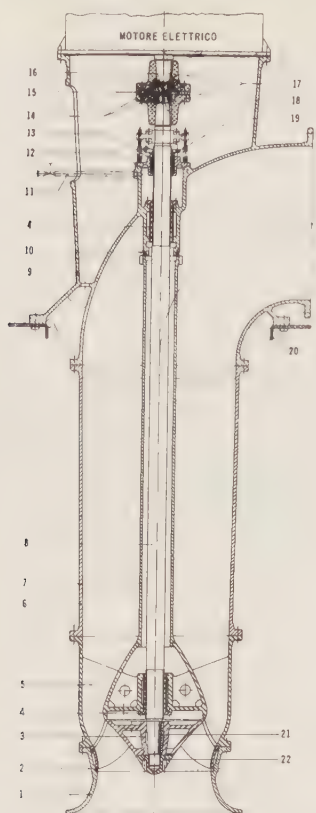


Fig. 18. — La sezione principale della pompa dell'acqua con densatrice pel condensatore di vapore di cui alla fig. 17.

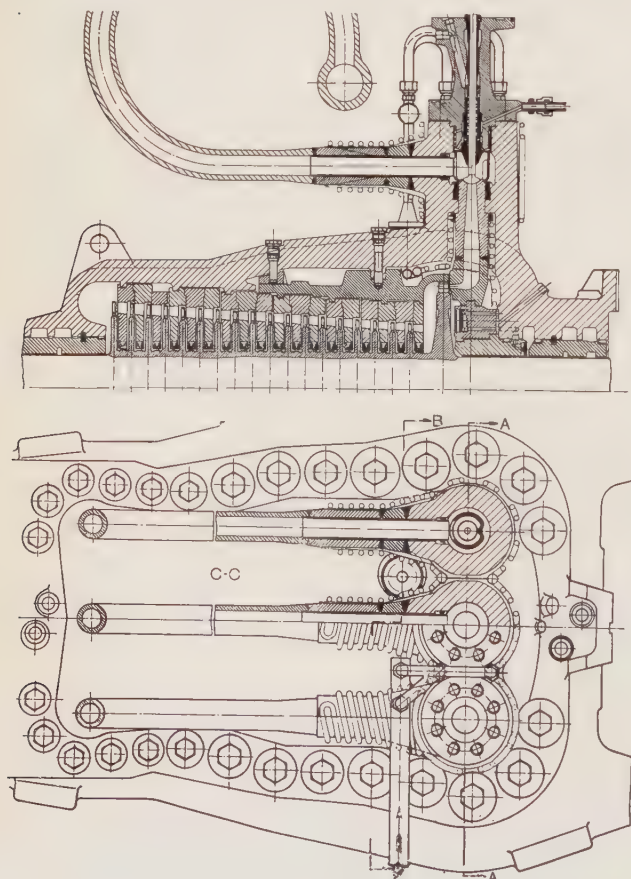


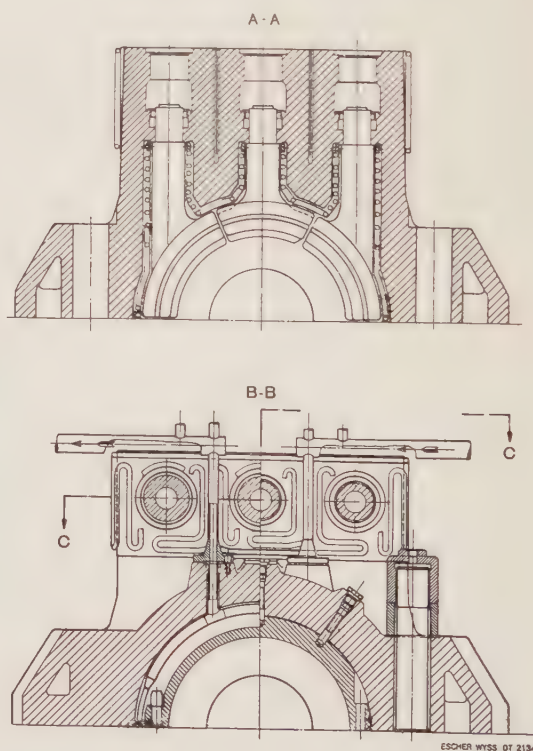
Fig. 19. — Particolari costruttivi del sistema di refrigerazione del corpo di AP del turbomotore Escher Wyss per il blocco termoelettrico di Baudour in Belgio, che funziona con temperatura iniziale del vapore di 595 °C.

Altri perfezionamenti sono stati attuati nei circuiti dell'olio di lubrificazione e di quello di regolazione. L'olio della mandata della pompa principale è adoperato come fluido trascinante in due eiettori ad olio, che alimentano l'aspirazione della pompa principale, adescandola sicuramente, per la lubrificazione dei diversi cuscinetti e per alimentare il sistema di tenuta dell'idrogeno nell'elettrogeneratore.

La pressione dell'olio per la regolazione del turbomotore varia generalmente da 1,4 ata a valvole di distribuzione completamente aperte e la pressione dell'olio viene modulata mediante vari dispositivi: il regolatore principale, che mantiene la pressione modulata più bassa, il regolatore ausiliario, il limitatore del carico ed il regolatore di pressione del vapore alla presa, il quale ha il compito di proteggere il turbomotore da improvvise, possibili cadute della pressione del vapore alla presa e di agire come limitatore del carico del turbogruppo.

Interessanti ricerche sperimentali sono state compiute, durante l'anno 1960 per determinare le forme ottimali delle bocche di scarico nei turbomotori a vapore, per stabilire la forma fluidodinamicamente più vantaggiosa per corpi-valvola e per gli otturatori delle varie valvole (alcune di esse sono state effettuate presso i laboratori di ricerca della Escher Wyss a Zurigo) (\*); nonchè per i rilievi dell'umidità percentuale del vapore, a mezzo di una speciale sonda sferica (cfr. la ricerca di W. Wulff e del dr. A. Christ in (\*)) negli ultimi elementi palettati dei turbomotori a vapore odierni.

Molto interessanti sono state, nel corso dell'anno 1960, le ricerche sperimentali e gli studi, compiuti in Italia, per stabilire i valori dei tempi di avviamento richiesti dai grandi gruppi turboalternatori entrati in servizio, con specifico riferimento alle condizioni di riscaldamento dei corpi valvola, sia d'introduzione del vapore surriscaldato, sia di quello risurriscaldato, dei rotori e delle porzioni fisse della turbina ed al comportamento termico delle



ESCHER WYSS OT 2134

condotte d'ammissione e riammissione del vapore in turbina. L'argomento ha formato l'oggetto di pregevoli studi monografici dell'ing. Ettore Buzzi, Direttore Tecnico Generale della Soc. Franco Tosi e di una sua interessante comunicazione al Congresso Nazionale dell'ATI a Napoli (ottobre 1960). L'argomento è seguito con molto interesse dalle principali Società Termoelettriche Italiane e ricerche sistematiche si vanno compiendo in va-

con turbomotore a gas, funzionante a circuito aperto e con 2 scambiatori di calore, da 5,1 MW utili, impiegante gas naturale. Il turbomotore ruota con 4 300 giri/min e funziona con una temperatura iniziale di 700 °C. Ha cinque elementi dislocati in serie; il turbocompressore ha 18 elementi assiali. V'è una sola camera di combustione secondo il sistema Tosi-Metrowick. I due scambiatori di calore sono montati con postazione verticale (cfr. la fi-

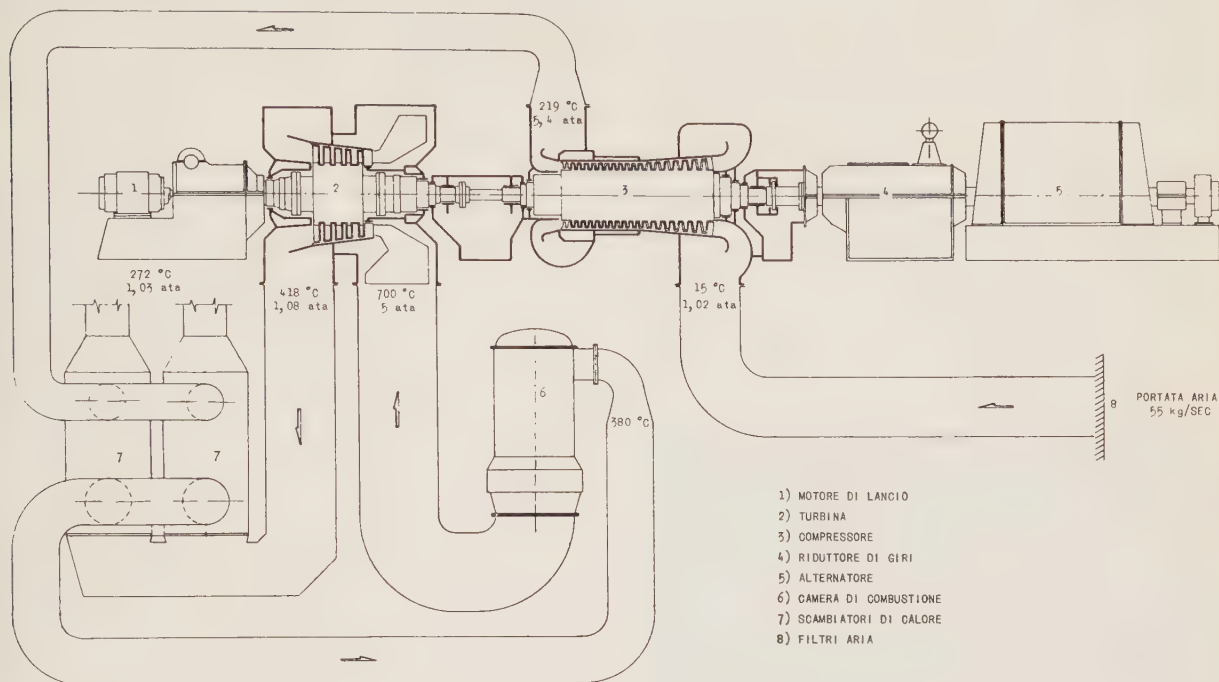


Fig. 20. — L'impianto con turbomotore a gas, sistema Tosi-Metrowick da 5,1 MW a Villa di Serio.

rie centrali (Genova, Porto Corsini, Tavazzano ed altre) anche in relazione alla particolare situazione idrologica italiana dello scorso anno.

È già stata fatta menzione dianzi di qualche nuovo impianto combinato a gas ed a vapore, entrato in servizio durante l'anno 1960 e vi sono in corso alcuni altri progetti per questi impianti, fra i quali uno, interessante, di S. B. Jackson che vorrebbe attuare un impianto su 4 blocchi a gas ed a vapore, ciascuno della potenza di 160 MW.

Il consumo termico specifico è dell'ordine delle 3 650 kcal/kWh. Sul disegno della fig. 20 sono indicate le principali caratteristiche operative di quest'impianto, il cui elettrogeneratore è di costruzione Brown Boveri. La regolazione del carico avviene a mezzo di regolatore centrifugo e di servomeccanismo oleodinamico; uno scatto di sicurezza evita il pericolo di ipervelocità.

La Bristol-Siddeley ha posto sul mercato un impianto trasportabile con turbomotore a gas avente la potenza utile di 3 MW, che è collegato ad un elettrogeneratore da

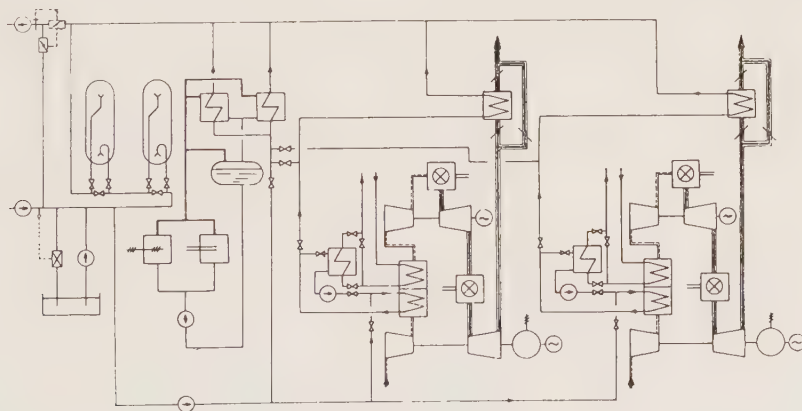


Fig. 21. — L'impianto di riscaldamento urbano con turbomotori a gas sistema BBC da 25/30 MW a Bremen-Vahr per un complesso di 10 mila abitazioni.

Nella centrale termoelettrica di Villa di Serio dell'Italcementi è stato installato, durante il 1960, un impianto

(\*) Cfr. Dr. M. J. HASSAN in « 15 Jahre Forschung für Turbomaschinen », 1960-61.

3 200 kVA, che è forse attualmente il più leggero costruito (pesa soltanto 25 t ed è sistemato in due furgoni, lunghi 9,75 e 6 m, facilmente trainabili su strada, per ferrovia e trasportabili via mare oppure via aerea, essendo la tubazione di scarico rimovibile).



A Bremen-Vahr è entrata in servizio la prima centrale di riscaldamento urbano con turbomotori a gas, sistema BBC, che serve circa 10 mila abitazioni. Gli impianti sono formati con due blocchi, ciascuno da 25/30 MW, su due alberi, e con funzionamento a circuito aperto, con refrigerazione intermedia dell'aria e con due camere di combustione: una d'A.P. ed una di B.P. Il suo schema è raffigurato in fig. 21.

L'evoluzione dei motori alternativi a combustione interna di grande potenzialità, motori Diesel, funzionanti a due tempi ed a semplice effetto nella maggior parte del-

le nuove costruzioni, è stata caratterizzata, durante l'anno 1960, da tre indirizzi, che sono i seguenti:

- 1) più elevate velocità di rotazione;
- 2) un aumento della pressione media effettiva;
- 3) il passaggio a maggiori potenze unitarie.

La maggior parte dei nuovi motori è suralimentata. In Italia si è iniziata la costruzione di motori Diesel suralimentati a due tempi con alesaggio di cilindri di 900 mm, ad opera della Fiat Grandi Motori, e così pure in Svizzera ad opera della Sulzer.

*Manoscritto pervenuto il 24 marzo 1961.*

# STUDI E PROGRESSI DEGLI IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI DIVERSE DA QUELLE TRADIZIONALI E DALLA ENERGIA NUCLEARE

FRANCESCO DI LECCE (\*)

*Si espongono in breve i risultati più importanti ottenuti nella ricerca e nelle applicazioni industriali in questo campo durante l'anno 1960.*

Nel corso del 1960, a seguito delle iniziative e dei programmi di studio avviati negli anni precedenti in diversi paesi, sono stati ottenuti risultati di notevole rilievo nella utilizzazione della energia geotermica e dell'energia delle maree.

Sono stati continuati studi ed esperienze per l'utilizzazione dell'energia del vento in alcune regioni del Sud America.

Mentre si è accresciuta la diffusione degli impianti di utilizzazione diretta dell'energia solare per riscaldamento di acqua destinata ad usi domestici, è stata proseguita l'attività di ricerca nell'altro campo di utilizzazione dell'energia solare, mediante produzione di energia elettrica attraverso celle fotoelettriche.

## I. ENERGIA GEOTERMICA.

Mentre in Italia sono proseguite le ricerche e gli accertamenti di nuove disponibilità di vapore endogeno per la produzione di energia elettrica, all'estero si sono avute importanti attuazioni e si prevedono ulteriori sviluppi per il prossimo avvenire.

Nella centrale geotermoelettrica di Wairakei, in Nuova Zelanda, sono entrati in esercizio sei dei sette gruppi previsti nel progetto del primo stadio, con una potenza complessiva di 46 MW; l'installazione del settimo gruppo, in montaggio presso le officine della casa costruttrice, porterà a 69 MW la potenza dell'impianto. Sono già in fase avanzata i lavori di costruzione delle opere civili relative al secondo stadio, che farà salire la potenza complessiva dell'impianto a 150 MW.

Intanto nuove trivellazioni, eseguite fino a profondità di 640÷700 m, con fori da 8 pollici di diametro, hanno consentito di aumentare la capacità produttiva del giacimento; una serie di sondaggi ed accertamenti hanno confermato le previsioni circa la notevole consistenza di esso e la possibilità di elevare ulteriormente la potenza della centrale fino a 250 MW, con un terzo stadio già in progettazione.

Anche negli S.U.A. [1] si è iniziata l'utilizzazione della energia di vapori naturali per la produzione di energia elettrica. Nella zona a nord di Big Sulphur Creek, in California, è entrato in esercizio un gruppo da 12 500 kW, che immette energia nel sistema a 60 kV della Pacific Gas and Electric Co. La linea di collegamento all'uopo costruita, è stata largamente dimensionata, in previsione del prossimo aumento della potenza installata nell'impianto.

Il gruppo generatore attualmente in funzione non è stato appositamente costruito, ma deriva dall'adatta-

mento di un vecchio gruppo rimosso da una centrale termoelettrica di tipo tradizionale; la turbina è stata modificata per essere alimentata con vapore naturale alla pressione di 7 kg/cm<sup>2</sup> e alla temperatura di 193 °C.

Ricerche sugli effetti di corrosione del vapore, dei prodotti di condensazione, dei gas non condensabili, che



Fig. 1. — L'edificio della centrale geotermoelettrica di Big Sulphur Creek in California. In primo piano la partenza della linea a 60 kV.

sono presenti nella percentuale media di 0,75 %, sono state condotte inizialmente su un modello che simulava l'impianto a partire dallo scarico della turbina e comprendeva, oltre il condensatore, gli eiettori dei gas non condensabili e le torri di raffreddamento. È stata così fatta una prima selezione dei materiali più adatti per la costruzione e il rivestimento delle parti esposte alle corrosioni; altri risultati si attendono dalla pratica di esercizio.

## 2. ENERGIA DELLE MAREE.

Non si è avuta notizia dell'avanzamento dello studio dei progetti per la utilizzazione dell'energia delle maree sulle coste americane e canadesi.

In Spagna, uno studio preliminare, condotto da enti statali per la valutazione delle disponibilità di questa forma di energia per la produzione di energia elettrica, ha portato a conclusioni poco favorevoli. Modeste quantità di energia elettrica potrebbero essere prodotte da centrali maremotrici ubicate sulle coste atlantiche; anche nelle condizioni più favorevoli, il limitato contributo che questi impianti potrebbero dare per far fronte ai crescenti bisogni di energia del paese è stato giudicato tale da non giustificare l'imponente impegno tecnico e finanziario che la loro attuazione comporterebbe.

Dalla Francia, insieme con la notizia dell'inizio dei lavori di costruzione dell'impianto della Rance, sono stati

(\*) Ing. FRANCESCO DI LECCE, dell'Istituto di Elettrotecnica della Facoltà d'Ingegneria di Bari.



forniti i primi risultati di esercizio relativi a un impianto pilota realizzato nei pressi dell'estuario della Rance, utilizzando un vecchio bacino di raddobbo nella zona portuale di S. Mâlo [2].

In questo, il gruppo generatore, prototipo di quelli previsti per l'impianto della Rance, è del tipo a bulbo, già largamente sperimentato in Francia; l'alternatore, da 9 MVA, 5,65 kV, 50 Hz, 88,2 giri/min, è accoppiato direttamente alla turbina-pompa e immette energia nella rete di distribuzione cittadina.

Studi ed esperienze particolari sono stati eseguiti per definire il disegno e adeguare il proporzionamento delle pale della turbina alle varie condizioni di funzionamento; altre esperienze sono state dedicate all'esame del comportamento dei materiali e dei trattamenti superficiali da adottare per la preservazione delle parti esposte alle corrosioni e alle alterazioni dovute all'azione dell'acqua marina.

I dati di esercizio disponibili, se ancora parziali per la durata limitata di esso (in totale 150 ore), permettono di dare una risposta favorevole ai quesiti più impegnativi sul comportamento in esercizio di un impianto del genere. In particolare possono considerarsi pienamente soddisfacenti le caratteristiche di stabilità elettrica e meccanica del gruppo, la modalità delle operazioni, manuali o automatiche, di parallelo del generatore sulla rete, l'adattabilità della turbina-pompa alle più diverse condizioni di funzionamento di un impianto alimentato dall'energia delle maree.

### 3. ENERGIA DEL VENTO.

Proseguono in diversi paesi la raccolta e la elaborazione di dati utili per la valutazione delle disponibilità di questa forma di energia. Programmi di ricerca su vasta scala sono stati annunciati per alcune regioni del Sud America, in seguito a una serie di iniziative promosse da enti scientifici [3].

In Uruguay, dove l'energia del vento trova notevole utilizzazione, sia direttamente sotto forma di energia meccanica per il pompaggio di acqua, sia per la produzione di energia elettrica in piccoli gruppi di potenza da alcune centinaia a qualche migliaio di watt, una indagine condotta dalla Università di Montevideo con la collaborazione scientifica e il concorso finanziario dell'Unesco ha confermato ampiamente la previsione che l'energia del vento possa in parte contribuire alla copertura dei bisogni crescenti del paese.

Così, dopo una prima fase di studio e di selezione delle apparecchiature di misura e di registrazione, è stato iniziato il rilevamento sistematico delle caratteristiche dei venti nelle diverse regioni del paese attraverso una rete di stazioni completamente attrezzate. Contemporaneamente, presso i laboratori universitari proseguono gli studi e le esperienze su modelli per la messa a punto di prototipi di aeromotori e di gruppi aereoelcttrici adatti alle caratteristiche dei venti locali e ben proporzionati al servizio a cui sono destinati.

Per gli aeromotori destinati ad azionare pompe per impianti di irrigazione e di bonifica, sono in progetto unità di potenza tra alcune decine e qualche centinaio di kW. Per i gruppi aereoelcttrici, mentre da una parte si tende a migliorare il rendimento delle unità di piccola potenza, curando in modo particolare l'adattamento delle caratteristiche dinamiche dell'aeromotore e del generatore elettrico, la regolazione di velocità del gruppo, la frenatura, d'altra parte si perfezionano i progetti relativi a gruppi di potenza maggiore, dell'ordine del centinaio di kW; questi si prevedono per funzionamento autonomo o si studiano in rapporto a uno sperabile collegamento in parallelo con le reti di distribuzione cittadina. Per questi gruppi verrebbe data la preferenza al generatore asincrono, per le note qualità di semplicità e di robustezza.

### 4. ENERGIA SOLARE.

Viene ormai concordemente prospettata la necessità di rilevamenti accurati e sistematici per la valutazione delle disponibilità di questa forma di energia ed auspicata la collaborazione tra i diversi enti ed associazioni scientifiche che si interessano all'argomento.

Allo stato attuale, l'utilizzazione più importante dell'energia solare resta quella diretta, per il riscaldamento di acqua destinata ad usi domestici. L'attuazione di impianti convenienti per il rendimento, di valore medio intorno al 40 % con punte sull'80 % per unità sperimentali, il conseguente costo ridotto hanno consentito di estenderne l'applicazione; attualmente sono in funzione negli S.U.A. oltre 25 000 impianti per una produzione annua di calore equivalente a  $10^8$  kWh.

Confronti economici, basati sui costi correnti dei combustibili solidi e liquidi, indicano la convenienza di questi impianti anche in regioni non particolarmente favorite, quale per esempio l'Inghilterra.

Non si è avuta notizia che nel 1960 siano stati installati impianti per la produzione di altissime temperature destinate ad usi industriali (forni solari).

Nel 1960 è stata molto intensa l'attività di ricerca nel campo della produzione di energia elettrica attraverso celle fotoelettriche, in seguito ai successi ottenuti con l'applicazione di queste celle per l'alimentazione degli apparati elettrici installati a bordo dei satelliti artificiali. Tanto dagli S.U. d'America, quanto dall'Unione Sovietica si ha notizia del crescente interesse per questo campo di ricerca e vengono annunciati i progressi realizzati.

Gli studi in corso tendono anzitutto alla conoscenza più approfondita del complesso di fenomeni che intervengono nel processo di produzione di energia elettrica, estendendo l'indagine al comportamento di nuovi materiali ed affinando i metodi di lavorazione per quelli già usati con successo. Per celle di produzione normale, il rendimento ha raggiunto il valore del 14 % [4]; un sensibile ulteriore miglioramento si prevede di potere ottenere con opportuni trattamenti della superficie esposta alle radiazioni, allo scopo di ridurre le perdite per riflessione. In tal senso sono stati già ottenuti buoni risultati ricoprendo la superficie delle celle al silicio con uno strato di biossido di silicio, che presenta anche buone qualità di aderenza alla superficie trattata, di robustezza, di resistenza al calore e all'attacco di agenti chimici, e di inalterabilità nel tempo [5].

Per l'applicazione di celle fotoelettriche ai veicoli spaziali assume notevole importanza il processo di decadimento a cui esse sono soggette per urto di micrometeoriti e incidenza di radiazioni dure; le ricerche eseguite in proposito hanno portato alla produzione di celle particolarmente robuste. Il processo di fabbricazione risulta semplificato rispetto a quello finora seguito per celle di tipo normale, con conseguente riduzione dei costi di fabbricazione che incidono notevolmente sul prezzo del prodotto finito.

La utilizzazione della energia solare per la produzione di energia elettrica attraverso celle fotoelettriche ha trovato anche qualche altra applicazione, sempre nel campo delle piccole potenze e per utenze che presentano esigenze particolari.

Dal Giappone si è avuta notizia dell'entrata in funzione di un impianto, costituito da 640 celle fotoelettriche, collegate fra loro in serie-parallelo, per la carica di una batteria di accumulatori al nichel-cadmio destinata ad alimentare, nelle ore notturne, la lanterna di segnalazione di un faro. La società che ha finanziato l'iniziativa ha dato notizia dei buoni risultati ottenuti e della decisione di estendere l'applicazione di questo tipo di impianto ad altre sei stazioni di segnalazione.

D'altra parte sono stati resi noti [6] i risultati ottenuti in una stazione sperimentale, installata da un grande complesso industriale americano, per avere dati di

esercizio di un impianto del genere destinato alla alimentazione di un posto telefonico isolato. Le esperienze sono

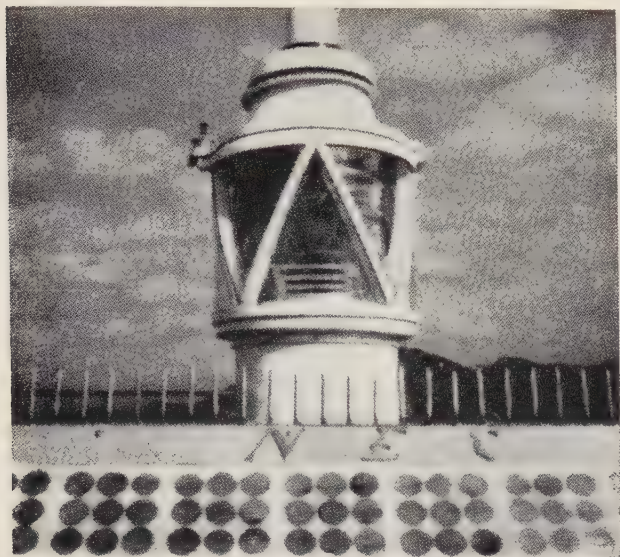


Fig. 2. — Pannelli di celle fotoelettriche per l'alimentazione della lanterna di un faro in Giappone.

state estese a diverse stagioni dell'anno ed hanno consentito di raccogliere una mole considerevole di dati spe-

rimentali, dai grafici di irradiazione solare alle caratteristiche di diversi tipi di celle e di batterie di accumulatori. L'impianto si è dimostrato tecnicamente realizzabile anche se non conveniente, allo stato attuale dei costi, dal punto di vista economico.

Continua ad essere oggetto di considerazioni teoriche l'applicazione delle celle fotoelettriche per l'alimentazione degli impianti elettrici delle case di abitazione, ma finora non si è avuto alcun tentativo di realizzazione pratica.

L'A. ringrazia vivamente il prof. A. Asta, che negli anni precedenti aveva curato la preparazione di queste note di aggiornamento, per avergli suggerito l'argomento del lavoro e per avergli dato un largo aiuto di suggerimenti e di consigli nel corso della preparazione di esso.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] A. W. BRUCE: *Natural steam source harnessed for commercial electric power.* - « *Electrical World* », june 1960, pag. 46.
- [2] I. KAMMERLOCHER: *La station marémotrice expérimentale de S. Mâlo.* - « *Revue générale de l'Elec.* », 1960, n. 5, pag. 237.
- [3] E. CAMBILARGIU, A. G. CISA, F. de MEDINA: *World Power Conf.* Madrid, 1960, II C. 2, 4, 5, 8.
- [4] D. A. KLEINMANN: *Considerations on the solar cell.* - « *Bell System Technical Jour.* », 1961, pag. 85.
- [5] V. MALOVETSKAIA: *The reflection coefficient of antireflection coated surfaces of silicon photocells.* - « *Soviet Physics - Solid state* » (Engl. trans.), 1960, I, pag. 1099.
- [6] D. H. SMITH: *A one watt power plant.* - « *Trans. A.I.E.E.* », part I, pag. 530.



**Impianto idroelettrico Stura di Demonte 2° salto.** — Il progetto di utilizzazione delle acque del torrente Stura di Demonte (prov. di Cuneo) prevede la costruzione di quattro impianti in serie con un salto complessivo di 955 m.

Gli impianti sono i seguenti:

- Impianti di Pietraporzio (1° salto) con producibilità media annua di 65 000 000 di kWh.
- Impianto di Vinadio (2° salto) con producibilità media annua di 238 000 000 di kWh.
- Impianto di Demonte (3° salto) con producibilità media annua di 42 000 000 di kWh.
- Impianto di Roccasparvera (4° salto) con producibilità media annua di 69 000 000 di kWh.

*Impianto di Vinadio.*

Il bacino imbrifero afferente all'impianto di Vinadio, misura complessivamente circa 264 km<sup>2</sup>, dei quali 129 corrispondenti al bacino insistente sulla presa di Pietraporzio, altri 99 allacciati dalle prese sussidiarie situate sugli affluenti in sponda destra (Rio Bagni, Rio S. Anna, Rio Palla), ed i rimanenti 36 sottesi dal serbatoio di Rio Freddo.

Altri 26 km<sup>2</sup> di bacino imbrifero potranno essere allacciati in futuro convogliando nella galleria di derivazione mediante prese sussidiarie e sifone attraversante la Vallata dello Stura, anche gli affluenti in sponda sinistra: Rio Bandia e Rio Madonna. La superficie totale del bacino imbrifero utilizzata dall'impianto si eleverà così a 290 km<sup>2</sup>.

L'impianto è attualmente atto a produrre, con una potenza installata di 61 250 kW, mediamente 218 milioni di kWh annui, produzione questa che si eleverà a 238 milioni con l'allacciamento dei detti affluenti di sinistra.

La galleria di derivazione a pelo libero è lunga circa 14 km.

Per la regolazione settimanale delle portate invernali e per quella giornaliera delle portate estive, è stato creato, in corrispondenza dell'attraversamento del Rio Freddo, un serbatoio della capacità di circa 325 000 m<sup>3</sup>.

Dal serbatoio si diparte una galleria in pressione.

La centrale è completamente interrata in pozzo.

Nella centrale sono installati due gruppi costituiti cia-

natore trifase, di tipo chiuso autoventilato, da 39 000 kW, 10 000 V  $\pm 10\%$  a 47-50 Hz.

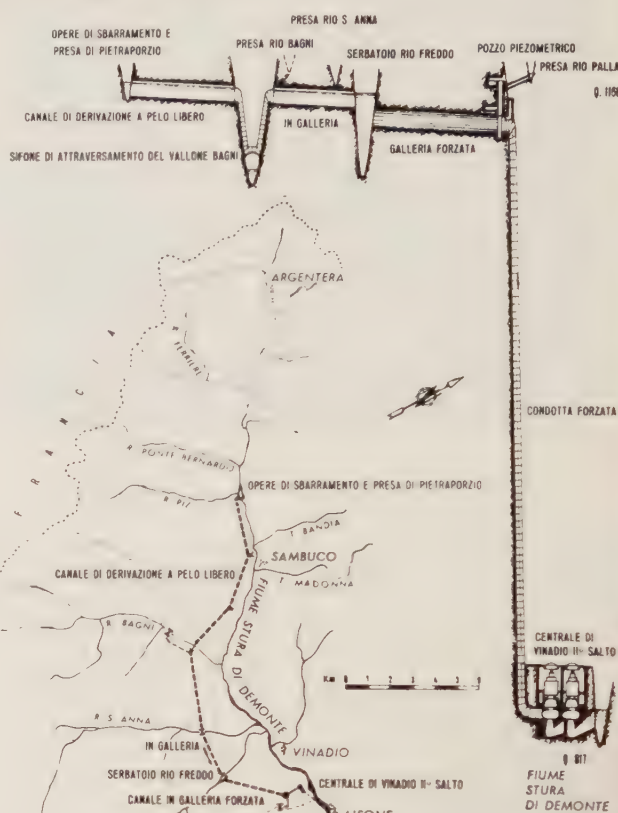


Fig. 1. — Planimetria e profilo generale degli impianti sullo Stura di Demonte.

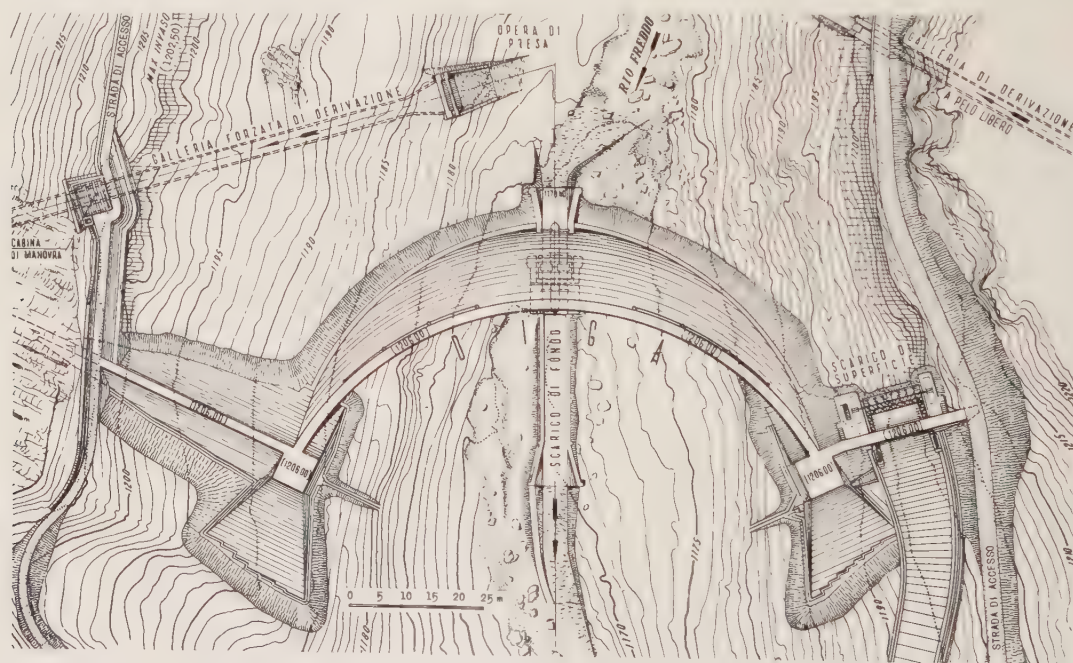


Fig. 2. — Planimetria della diga sul Rio Freddo.

scuno da una turbina tipo Francis ad asse verticale a 750 giri/min per una portata di 9 m<sup>3</sup>/s, accoppiata ad un alter-

In centrale è inoltre installato per i servizi ausiliari elettrici un gruppo turbina-alternatore trifase da 700 kVA a 3 kV.



Nella stazione di trasformazione all'aperto sono installati due trasformatori trifasi, a circolazione di olio, in refrige-

delle acque dal fiume Stura è situata in Comune di Pietraporzio.

L'opera è costituita da una traversa con due luci di 12,50

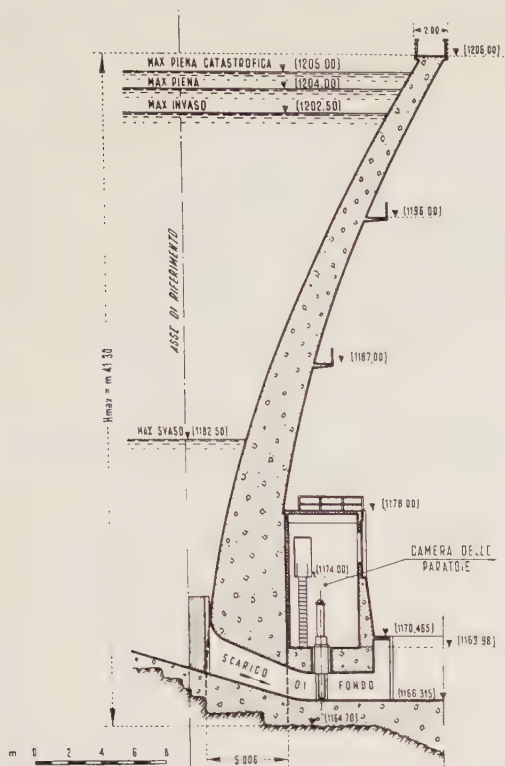


Fig. 3. — Sezione della diga sul Rio Freddo.



Fig. 5. — Attraversamento del Rio Bagni.

metri per 5,50 ciascuna, munite di paratoie piane a ruote, sormontate da ventole abbattibili e previste per il livello di massima ritenuta normale a quota 1220.

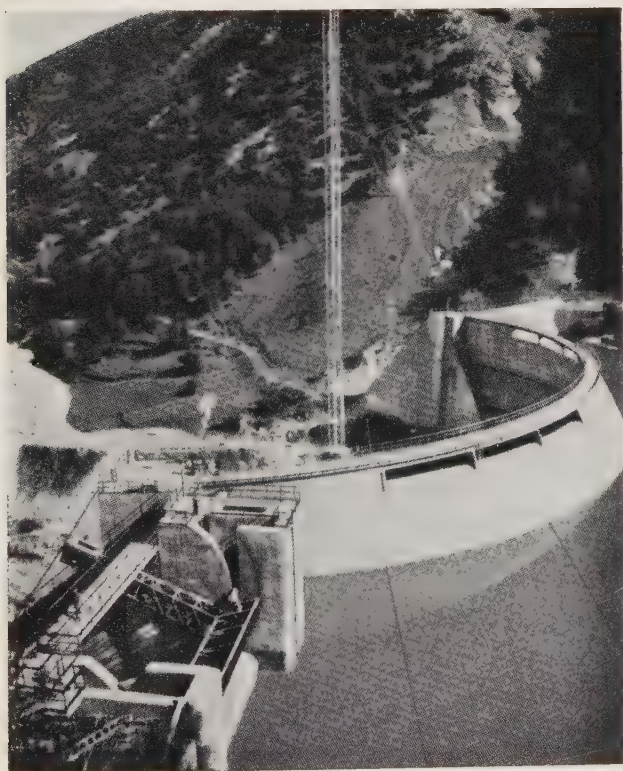


Fig. 4. — Diga sul Rio Freddo, con lo scarico di superficie.

rante ad acqua, da 39 000 kVA, 10 kV e 10/150 - 142,5 - 135 kV.

La presa di Pietraporzio. La presa per la derivazione

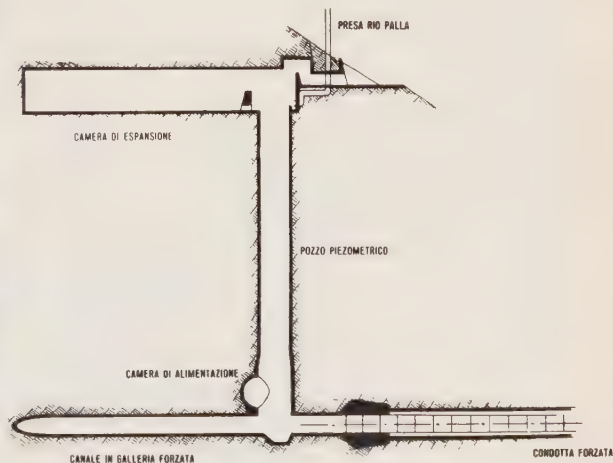


Fig. 6. — Pozzo piezometrico.

La presa consente di derivare dal fiume Stura ed immettere nella galleria di derivazione la portata di 5 m<sup>3</sup>/s.

A paratoie completamente sollevate la traversa può smaltire una portata di piena di 920 m<sup>3</sup>/s, corrispondente ad un deflusso di circa 7 m<sup>3</sup>/s per km<sup>2</sup> di bacino imbrifero.



La galleria di derivazione a pelo libero si svolge tutta in destra dello Stura per una lunghezza di 13 974 m ed è di-

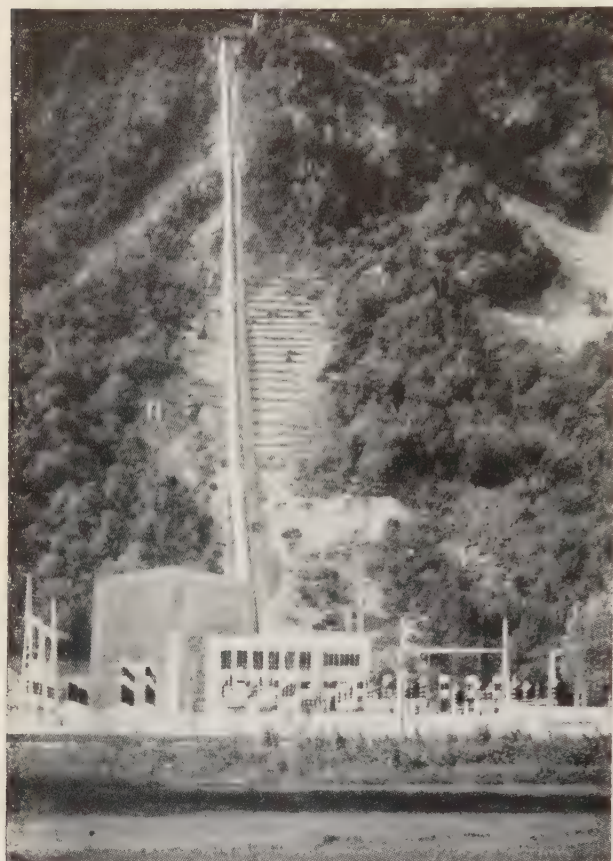


Fig. 7. — Condotta forzata, edificio smontaggio e comandi, stazione all'aperto.

tata avvengono in corrispondenza delle immissioni delle acque dei Rii Bagni e S. Anna.

La galleria di derivazione attraversa la valle di Rio Bagni, profonda circa 80 m al di sotto della quota della galleria stessa, mediante un sifone in tubazione metallica, lungo 291,30 m.

Al termine del tratto ascendente del sifone, vengono immesse nella galleria anche le acque prelevate più a monte con la presa sul Rio Bagni.

Le acque derivate dal Rio S. Anna vengono invece immesse nella galleria quasi in corrispondenza dello sbocco della galleria stessa nel serbatoio di Rio Freddo.

Il serbatoio di Rio Freddo è stato ottenuto sbarrando il corso del torrente omonimo, per mezzo di una diga a volta a doppia curvatura, la quale si appoggia a due spalle massicce a gravità. Il completamento della chiusura della valle è ottenuto mediante due brevi ali a gravità, dipartentisi da dette spalle. Nell'ala a gravità in sponda sinistra è ricavato lo scarico di superficie, comandato da paratoia autolivellatrice a settore.

Il serbatoio, avente una capacità utile di 325 000 m<sup>3</sup> alla quota di 1 202,50 m di massimo invaso, consente la regolazione settimanale dei deflussi invernali e giornaliera di quelli estivi.

La diga a doppia curvatura (volta) è a spessore variabile con la quota; i raggi di intradosso sono pure variabili, in funzione dell'altezza, da 55,78 m a 38,53; le aperture angolari sono comprese tra 132° e 40°. Lo spessore della volta va da un minimo di 1,40 m, sotto il coronamento, ad un massimo, in corrispondenza del punto più depresso della fondazione, di 5 m. Per attenuare l'effetto del ritiro, la volta è stata suddivisa in 9 conci, separati da 8 giunti di contrazione verticali, che sono stati iniettati ad avvenuta presa del calcestruzzo.

Lo scarico di superficie è in grado di scaricare una portata massima di 370 m<sup>3</sup>/s, convogliata a valle mediante un canalone in calcestruzzo. Questa portata può essere integrata da quella che può venire scaricata dal coronamento della diga, reso sfiorante con soglia a quota 1 204. Con livello dell'acqua nel serbatoio a quota 1 205 i due scarichi di superficie possono scaricare complessivamente fino a 470 m<sup>3</sup>/s pari a circa 13 m<sup>3</sup>/s per km<sup>2</sup> di bacino imbrifero. Lo

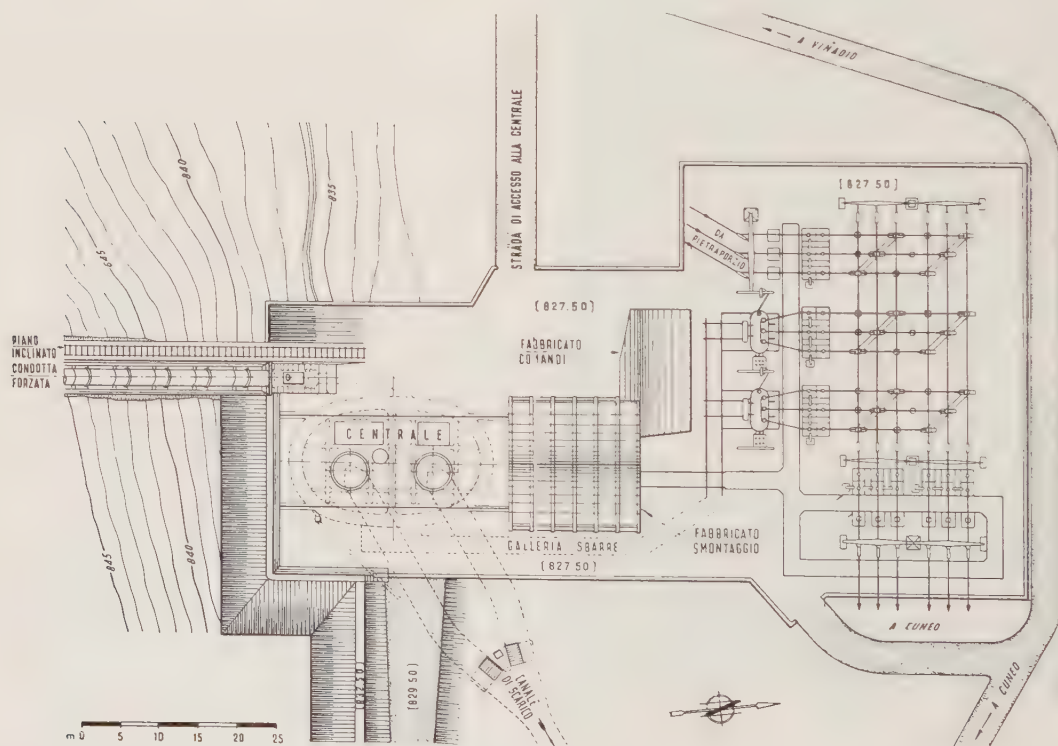


Fig. 8. — Planimetria della centrale e annessi

mensionata, secondo i vari tronchi, per una portata massima variabile da 5 m<sup>3</sup>/s a 10,5 m<sup>3</sup>/s. Le variazioni della por-

scarico di fondo, incorporato nella parte centrale della diga, costituito da due luci chiuse da paratoie piane a saracinesca

a carrello di  $1,60 \times 1,60$  m cadauna, può inoltre smaltire sotto il livello di massima piena catastofica (quota 1205) una portata massima di  $122 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La galleria in pressione fra il serbatoio e l'inizio della condotta forzata, ha sezione circolare del diametro di 2,90 m

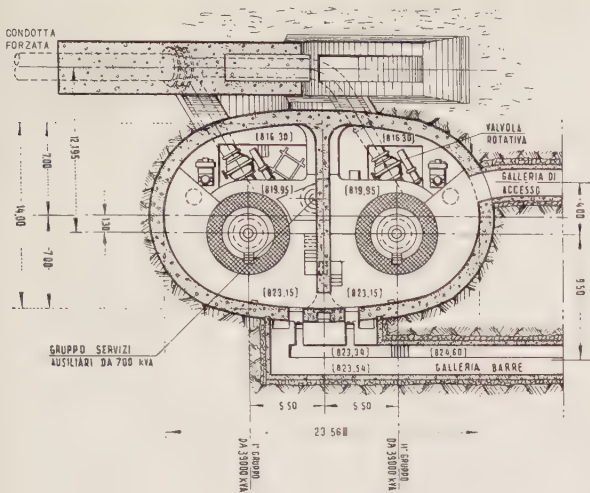


Fig. 9. — Sezione orizzontale della centrale in pozzo.

ed è lunga 2 972 m; la portata massima derivabile è di  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il pozzo piezometrico è costituito da una canna verticale alta 40 m a sezione circolare del diametro di 4 m, collegata a due camere: l'una di alimentazione e l'altra di espansione. La prima è lunga 132 m, ha sezione circolare del diametro di 2,90 m; la seconda è lunga 30 m ed ha sezione policentrica di  $26 \text{ m}^2$  di area. Attraverso il pozzo piezometrico avviene l'immissione delle acque captate dalla presa sul Rio Palla.

La condotta forzata si svolge, per la prima parte, libera in galleria e successivamente all'aperto; è costituita da una tubazione metallica saldata elettricamente, lunga 631,59 m,

ed avente in pianta dimensioni interne massime di  $23,5 \times 15$  metri circa.

Le pareti del cassone hanno lo spessore di 1 m; un setto centrale lo divide in due vani, in ciascuno dei quali è installato un gruppo.

Nel setto centrale è ricavato il passaggio della condotta di alimentazione del gruppo ausiliario ed il relativo scarico.

Il cassone venne costruito gradualmente, procedendo all'affondamento per gravità del tronco costruito, mediante scavo all'interno e sopraelevando la struttura in calcestruzzo fuori terra man mano che il cassone affondava nel terreno.

Al montaggio del macchinario nell'interno del cassone si procedette a mezzo di una gru a cavalletto, della portata di 95 t, corrente su binari all'esterno, superiormente al pozzo, ed introducendo i pezzi del macchinario attraverso aperture lasciate nel solaio di copertura del cassone.

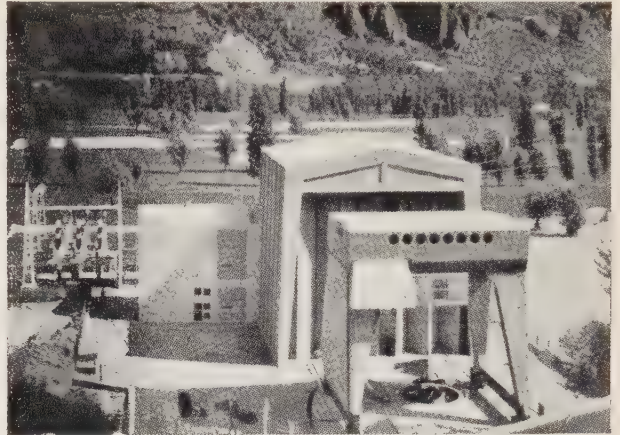


Fig. 11. — Locale smontaggio e gru a cavalletto.

Queste aperture sono chiuse da apposite botole asportabili, coperte di materiale trasparente.

Accanto alla centrale sorgono: l'edificio per lo smontaggio del macchinario e per il ricovero della gru, e l'edificio

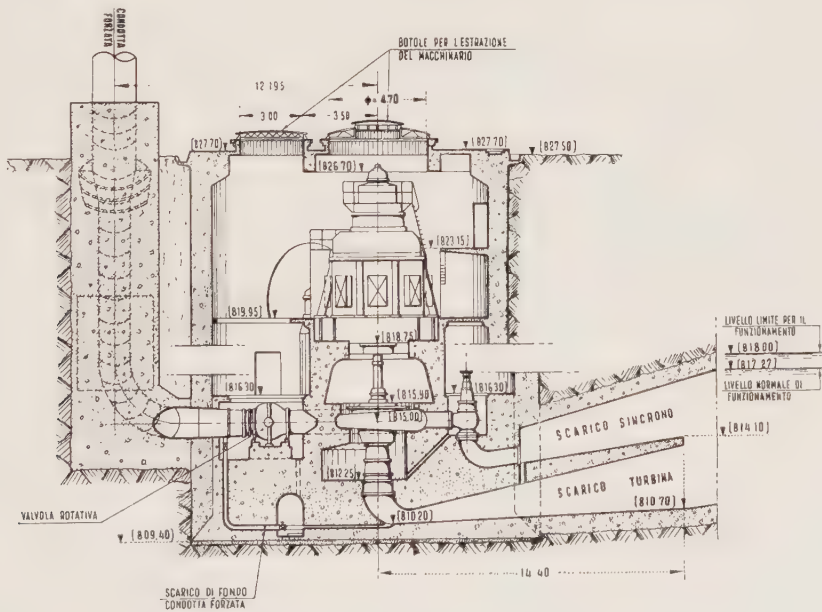


Fig. 10. — Sezione verticale della centrale in pozzo.

avente il diametro interno variabile da 2,70 a 2,08 m; i tronchi inferiori della condotta sono blindati.

La centrale è ubicata in prossimità del paese di Vinadio ed è del tipo in pozzo.

Il macchinario è sistemato nell'interno di un cassone auto-affondante, a pianta ellittica, in cemento armato alto 18 m

contenente il quadro di comando e le apparecchiature dei servizi ausiliari.

Il canale di scarico è costituito da una galleria artificiale lunga circa 850 m, a sezione policentrica di  $8,40 \text{ m}^2$  di area; la sezione liquida ha una superficie di  $6,65 \text{ m}^2$ .

La stazione di trasformazione e smistamento è situata al-



l'aperto sul piazzale adiacente alla centrale. Essa è costituita da due sistemi di sbarre a ciascuno dei quali possono essere collegati sia ogni trasformatore elevatore sia, in futuro, la linea a 130 kV prevista per convogliare a Vinadio l'energia prodotta dalla progettata centrale di Pietraporzio (1° salto). Da ciascun sistema di sbarre si diparte una terna della linea a 130 kV che trasporta in Liguria l'energia prodotta dall'impianto.

\* \*

**Gli impianti del Consorzio Elettrico Buthier.** — L'impianto del Buthier Superiore utilizza un bacino imbrifero di 137 km<sup>2</sup>, in parte realizzato con allacciamenti ad altri bacini come indicato in fig. 1, mediante uno sviluppo di canali di allacciamento per 20 km.

L'impianto utilizza un salto massimo di 998 m, fra le quote di circa 1965 m s.m. e 964 m s.m.

Con la costruzione in corso della diga di Place Moulin, di cui è detto più avanti, sarà realizzato un serbatoio di testa per 100 milioni di metri cubi d'acqua.

Dal serbatoio parte un canale derivatore lungo 14 440 m, in galleria sotto pressione, con diametro di 2,64 m, proporzionato per una portata massima di 16 m<sup>3</sup>/s.

La condotta forzata ha un diametro variabile da 2 a 1,75 m ed è lunga 2 050 m.

Nella centrale di Valpelline, all'aperto, sono installati 2 gruppi da 75 000 kVA con turbine Pelton ad asse orizzontale accoppiate ad alternatori trifasi.

La producibilità dell'impianto è di circa 327 milioni di kWh annui dei quali 262 milioni invernali e 65 milioni estivi.

L'impianto del Buthier Inferiore utilizza le acque del Buthier allo scarico della centrale di Valpelline, e due prese sui torrenti Ollomont e Artanavaz (fig. 2). Il bacino idrico sfruttato risulta di 389 km<sup>2</sup>.

lioni di kWh dei quali 117 milioni invernali e 75 milioni estivi.

Complessivamente i due impianti sfruttano un salto motore massimo di 1 345 m e rappresentano una potenza installata di 198 000 kW, ed una producibilità media annua di 519 milioni di kWh dei quali 379 milioni invernali e 140 estivi.

**Diga di Place Moulin.**

Lo sbarramento destinato a creare il serbatoio di regolazione degli impianti suddetti è attualmente in costruzione nella valle del Buthier in località detta Place Moulin, a quota 1 830 m s.m. circa. Il serbatoio si estenderà a monte per circa 4 km fin presso la località detta Prarayer (fig. 1) e realizzerà la capacità utile di 100 milioni di metri cubi con una escursione del pelo liquido fra la quota di massimo invaso a 1 965 m s.m. e quella di massimo svaso a 1 830 m s.m.

La diga è costituita da una struttura formata da un solido a doppia curvatura, caratterizzato in senso verticale da una sezione maestra con paramenti opportunamente curvati e spessori variabili con leggi analitiche particolari, ed in senso orizzontale da una serie di archi a spessori gradualmente crescenti dalla chiave alle imposte.

La struttura è imbasata su di un pulvino di fondazione che si sviluppa lungo il profilo di scavo con vario spessore al fine di perfezionare la simmetria della struttura stessa. In prossimità del coronamento il pulvino si estende a formazione di spalle della lunghezza di 74 m in sponda destra e di 20 m in sponda sinistra.

La formazione rocciosa della zona di imbasamento, accuratamente esplorata mediante 5 000 m di sondaggi, con estrazione di carote fino alla profondità di 70÷100 m, è costituita da ripetute alternanze dei vari termini della serie cristallina metamorfica detta di Valpelline.

I dati principali della diga sono:

— quota di coronamento: 1 968 m s.m.;



Fig. 1. — Planimetria degli impianti del Buthier.

Il salto massimo utilizzato è di 347 m; l'impianto si sviluppa fra le quote 964 m s.m. e 604,50 m s.m.

Il canale derivatore dal Buthier, a pelo libero, è lungo 11 390 m e proporzionato per una portata massima di 17,5 m<sup>3</sup>/s.

La condotta forzata ha un diametro di 1,650 m ed è lunga 730 m.

La centrale di Signayes contiene 3 gruppi, ad asse orizzontale, con turbine Pelton accoppiate ad alternatori trifasi da 16 000 kVA.

La producibilità annua media dell'impianto è di 192 mi-

- altezza massima sul punto più depresso delle fondazioni: 152 m;
- franco rispetto al piano di coronamento del livello di massimo invaso: 3 m;
- sviluppo del coronamento: 663 m;
- corda dell'arco medio di coronamento: 477 m;
- freccia dell'arco medio di coronamento: 132 m;
- spessori sezione mediana:
  - a coronamento: 6,81 m;
  - alla base: 41,94 m;
- volume della diga: 1 500 000 m<sup>3</sup>.

Il corpo diga è suddiviso in 43 conci da 42 giunti radiali, nonché da un giunto circonferenziale nella zona di massimo spessore della struttura, dalle fondazioni fino a quota 1906. La diga è fornita di sistema drenante e di ispezione, costituiti il primo da canne pressochè parallele al paramento di monte, del diametro di 25 cm, intervallate di 3 m, e il secondo da un cunicolo perimetrale e da quattro cunicoli

Detto controllo è esteso anche alla formazione rocciosa su cui è impostata la diga mediante misura delle relative deformazioni a mezzo di strumenti installati nelle gallerie di accesso agli scarichi di fondo e di alleggerimento, nonché in appositi cunicoli orizzontali ricavati in sponda destra e sinistra a quota 1906 che si addentrano nella massa rocciosa per circa 80 m.

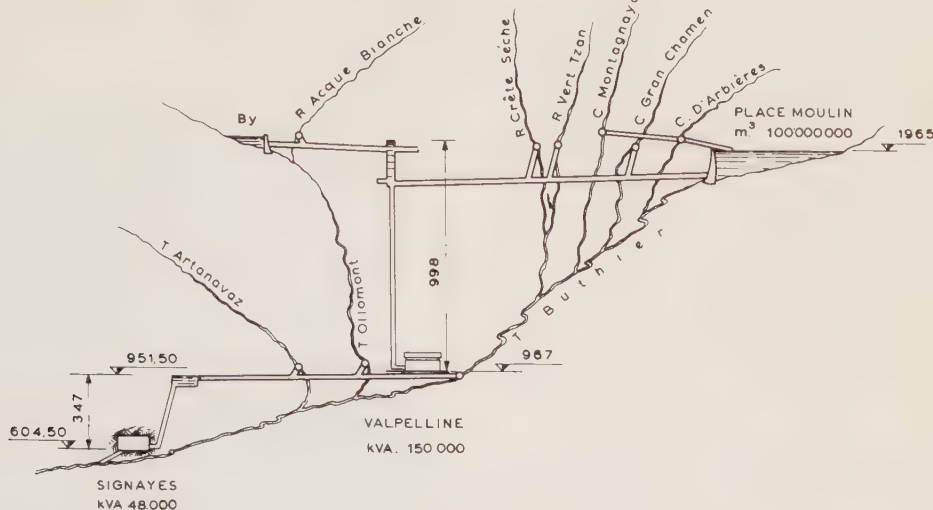


Fig. 2. — Profilo degli impianti del Buthier.

orizzontali a quota 1852, 1879, 1906, 1936 rispettivamente. Il corpo murario è ancora verticalmente attraversato da tre pozzi destinati all'installazione dei pendoli che si addentrano per una ventina di metri circa nella formazione rocciosa. Per il controllo del comportamento della struttura, sia

Una avandiga in calcestruzzo, a gravità, rettilinea, alta 24 m sulle fondazioni, del volume di circa 24 000 m<sup>3</sup>, consente la deviazione delle acque del Torrente Buthier e la formazione di un serbatoio della capacità di 650 000 m<sup>3</sup> che alimenta, attraverso l'opera di presa ed il successivo canale derivatore in pressione, la centrale di Valpelline.

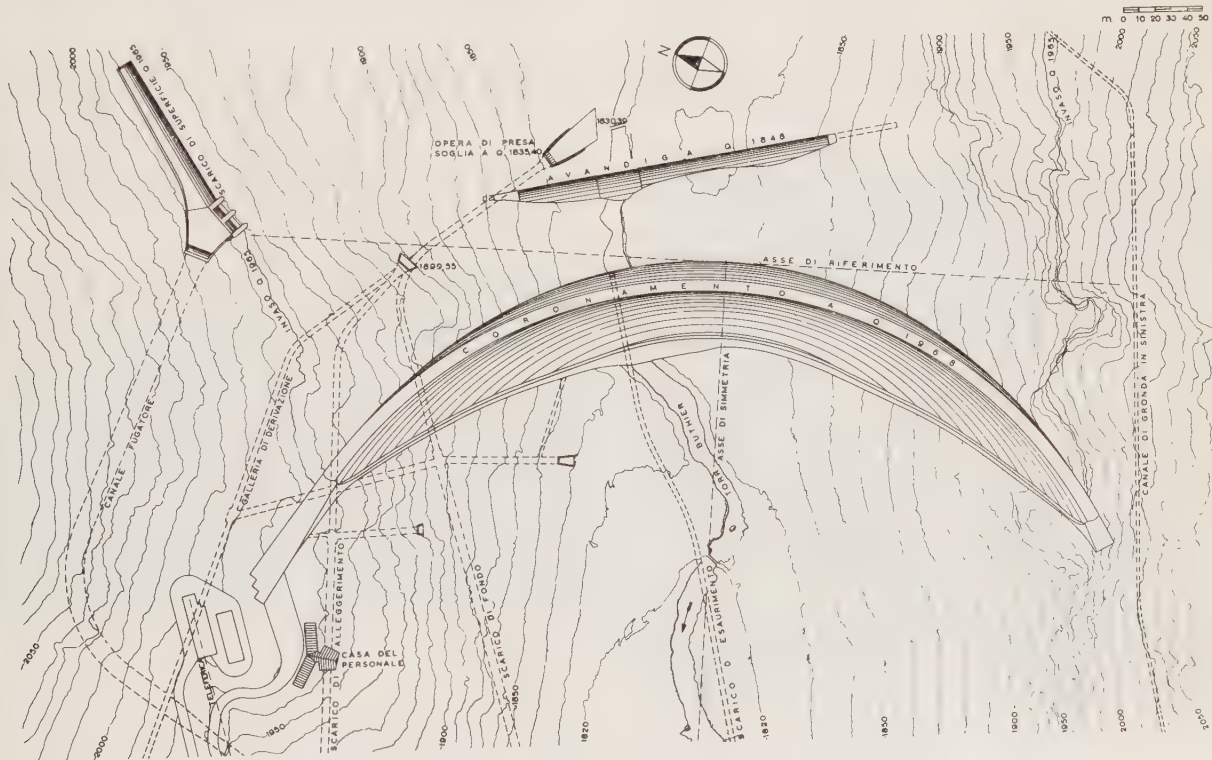


Fig. 3. — Planimetria della diga di Place Moulin.

nella fase costruttiva che durante l'esercizio, sono opportunamente disposti all'interno della massa muraria, nei cunicoli e sul coronamento, oltre ai pendoli già citati, strumenti di precisione atti alla misura delle deformazioni degli spostamenti e della temperatura.

Le opere di scarico del serbatoio comprendono: uno scarico di superficie, uno scarico di alleggerimento, uno scarico di fondo ed uno scarico di esaurimento:

— Lo scarico di superficie, in sponda destra, a soglia sfiorante e paratoie a ventola automatiche, consente la traci-



mazione di una portata di piena di 470 m<sup>3</sup>/sec, convogliata a valle della diga mediante canale in galleria fino allo sbocco nell'alveo del Torrente Buthier, circa 550 m a valle della diga stessa.

— Lo scarico di alleggerimento, con imbocco in sponda

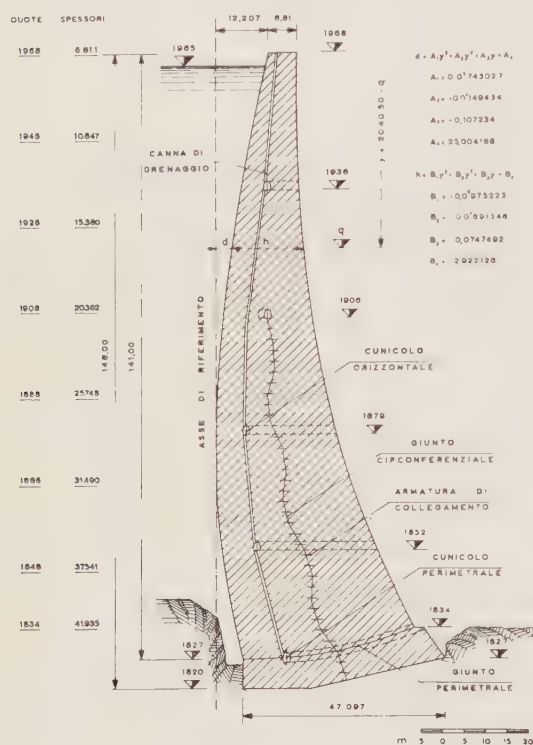


Fig. 4. — Sezione della diga di Place Moulin.

destra a quota 1899,55 e successiva galleria in pressione di 175 m consente, con livello di massima piena, l'evacuazione di una portata di 135 m<sup>3</sup>/sec, convogliata a valle della diga da un canale in galleria a pelo libero di 170 m che fa se-

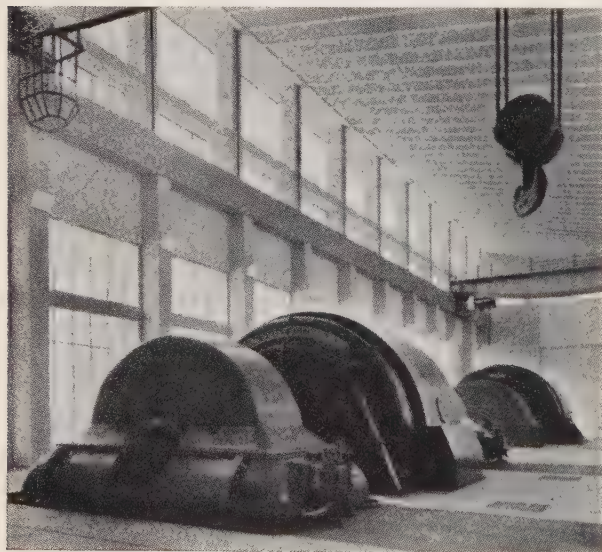


Fig. 5. — Sala macchine della centrale di Valpelline.

guito agli organi di intercettazione e successivamente dallo stesso canale di fuga dello scarico di superficie.

— Lo scarico di fondo, con imbocco in sponda destra, a quota 1830,30, consente, con livello di massima piena, l'evacuazione di una portata di 180 m<sup>3</sup>/sec convogliata con canale a pelo libero dello sviluppo di 423 m fino allo sbocco nel Torrente Buthier.

— Lo scarico di esaurimento, destinato ad evacuare le acque residue tra l'avandiga e il corpo murario dello sbarramento, attraversa in tubazione metallica il pulvino di fondazione; le acque scaricate sono convogliate nell'alveo del Buthier a mezzo di canale in galleria.

Gli organi di intercettazione degli scarichi di alleggerimento e di fondo sono costituiti ciascuno da due paratoie piane a strisciamento del tipo a saracinesca manovrabili con meccanismi oleodinamici a stantuffo.

L'opera di presa ubicata in sponda destra a quota 1835,40 sopra lo scarico di fondo comprende un imbocco protetto da griglie raccordato alla camera degli organi di regolazione e chiusura, mediante galleria in pressione della lunghezza di 311 m.

\* \*

**Palloncini aerostatici per la messa in opera di conduttori** sono stati adottati in Giappone per posare una linea aerea fra l'isola Shikoku e l'isola Awaji.

Lo stretto fra le due isole è lungo circa 1600 m e le condizioni locali non permettevano l'uso di elicotteri; le neces-



Fig. 1. — Operazioni di posa mediante palloni.

sità della navigazione impedivano le manovre superficiali con galleggiante e le fortissime correnti non permettevano la posa di cavi subacquei. La potenza da trasmettere è di 30 MW per la quale si adottò una linea aerea a 170 kV con conduttori da 35,5 mm di diametro.

A terra furono stese corde da 9 mm alle quali furono at-



Fig. 2. — L'attraversamento compiuto.

taccati 80 palloni del diametro di circa 2,70 m che davano ciascuno una forza di sollevamento di circa 8 kg. Un rimorchiatore a cui furono attaccate le estremità delle corde attraversò lentamente lo stretto mentre a terra i palloni venivano attaccati ai conduttori stessi man mano che si sfilavano, a distanza di circa 20 m l'uno dall'altro.

In tal modo vennero tese attraverso lo stretto le corde da 9 mm, che servivano poi, secondo la tecnica normale a permettere la tesatura dei conduttori da 35,5 mm.

(Electrical World, 28 agosto 1961).

\* \*

**Elettromagnete superconduttore.** — I laboratori di ricerca della Westinghouse hanno realizzato un elettromagnete superconduttore la cui costruzione era considerata fino a uno o due anni fa teoricamente impossibile.

Il nuovo dispositivo potrà rivoluzionare molti aspetti dei problemi relativi a generazione, distribuzione e impiego della energia elettrica.

Come è noto, nei così detti superconduttori la resistenza



Fig. 1. — L'elettromagnete superconduttore della Westinghouse.

elettrica è praticamente nulla alle temperature prossime allo zero assoluto; però le loro applicazioni pratiche erano fino a pochi anni fa, ostacolate dal fatto che il campo magnetico generato dalle supercorrenti distruggeva la loro superconduttività.

Successivamente Kunzler e i suoi collaboratori dimostrano che certi materiali superconduttori mantenevano le loro caratteristiche anche in forti campi magnetici.

di flusso di 4,3 Weber/m<sup>2</sup>; esso non ha nucleo di ferro (per evitare la saturazione a 2,0 Weber/m<sup>2</sup>) ed è formato da un solenoide del diametro di 5 cm e lungo circa 4 cm, attorno al quale è avvolto, un sottile filo di materiale superconduttore (lega di niobio e zirconio) lungo 800 m e formante circa 5 000 spire.

Il solenoide funziona immerso in un recipiente di elio liquido che lo mantiene alla temperatura di circa 4 °K. L'energia richiesta per raffreddare la bobina è solo una piccola frazione di quella che sarebbe necessaria per creare un campo magnetico di pari intensità con un elettromagnete di tipo tradizionale.

Il filo superconduttore che, benchè abbia uno spessore poco superiore a quello di un capello umano, porta una corrente di 20 A, con una densità di  $2 \cdot 10^3$  A/mm<sup>2</sup>, costituisce l'elemento più importante e delicato dell'intero progetto e la sua preparazione ha richiesto procedimenti di eccezionale precisione.

L'elettromagnete superconduttore apre promettenti prospettive per i futuri potentissimi elettromagneti che renderanno possibile la generazione diretta di potenza elettrica, la realizzazione di più potenti disintegratori, l'utilizzazione dell'energia proveniente dalle fusioni nucleari e infine l'attuazione pratica di alcuni dei sistemi studiati per la propulsione spaziale.

\* \*

**Un impianto termoelettrico a vapore** di peculiari caratteristiche costruttive è quello in costruzione per la Texas Electric Service Corp. come ampliamento della esistente centrale di Handley.

Verrà installato un gruppo da 350 MW di tipo tandem-compound, con elemento a bassa pressione a flusso quadruplo. Esso sarà alimentato con vapore a 168 kg/cm<sup>2</sup> a 538 °C con risurriscaldamento a 538 °C. Vi saranno 7 prese intermedie per i rigeneratori; la pressione al condensatore sarà di 80 mm Hg, con acqua di circolazione a 34 °C. L'alternatore è proporzionato per 460 MVA,  $\cos \varphi = 0,80$ , rapporto di corto circuito 0,64; esso sarà raffreddato a idrogeno alla pressione di 3 atmosfere.

La caldaia, installata all'aperto, con focolare in pressione, è proporzionata per produrre 1 130 t/h di vapore a 176 kg/cm<sup>2</sup> a 540 °C e per risurriscaldare 1 000 t/h di vapore a 37,5 kg/cm<sup>2</sup> da 330 °C a 540 °C.

Una pompa di alimentazione della caldaia, per la intera portata, sarà comandata, con accoppiamento idraulico dall'albero principale della turbina.

L'energia prodotta verrà elevata a 138 kV con un trasformatore che porterà anche un avvolgimento terziario da 20 MVA per i servizi propri di centrale.

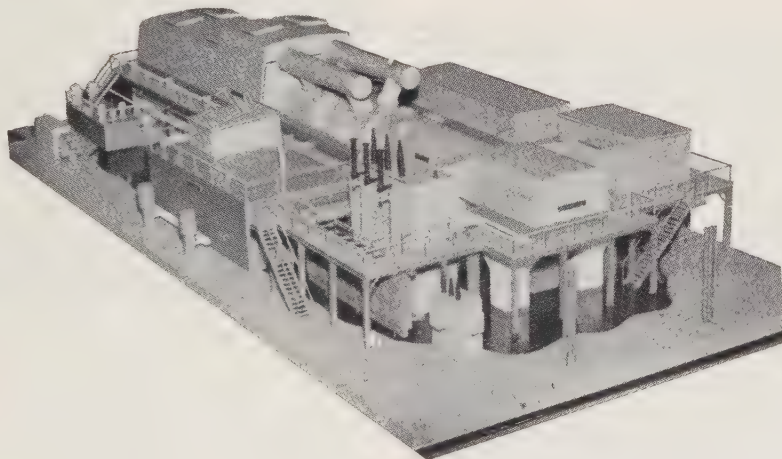


Fig. 1. — Modello del gruppo da 350 MW.

Quindici anni di ricerche nel campo delle basse temperature hanno permesso ai laboratori della Westinghouse di utilizzare questi materiali per costruire un elettromagnete che presenta le caratteristiche esterne previste teoricamente per i superconduttori.

Con dimensioni di pochi centimetri e peso di 1/2 kg, il nuovo supermagnete crea un campo magnetico con densità

L'impianto è studiato in modo da riuscire estremamente compatto, con un minimo sviluppo di tubazioni, di valvole, e di cavetti. La caldaia è installata molto vicina alla turbina; i rigeneratori sono addossati al condensatore. Il corpo a bassa pressione, un evaporatore per l'acqua di apporto e i due primi rigeneratori sono racchiusi in un unico cassone.



Il trasformatore è installato a ridosso dell'alternatore. Molti dei comandi e controlli elettrici sono installati sul corpo stesso dell'alternatore o nelle immediate vicinanze. Tutto il gruppo sarà installato all'aperto.

Fin dal 1949 vi fu installata una piccola turbina a gas, utilizzando i gas caldi di scarico per preriscaldare l'acqua di alimentazione della caldaia. Una seconda unità analoga fu installata nel 1952.

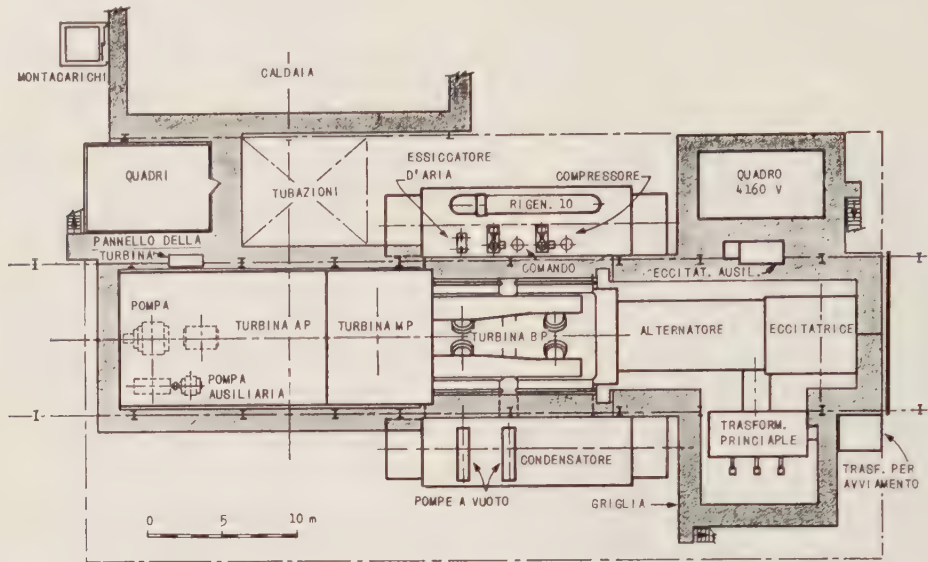


Fig. 2. Pianta dell'installazione del nuovo gruppo da 350 MW.

Il consumo unitario è previsto in 1972 cal/kWh. Il costo dell'impianto è previsto, in contratto, in 80 dollari per chilowatt.

(Da *Power Engineering*, maggio 1961).

Nella nuova sezione ora in corso di installazione, i gas di scarico della turbina a gas, a 504 °C, vengono immessi nel focolare della caldaia come aria comburente: essi conten-

\* \*

Un interessante esempio di **impianto combinato con turbine a vapore e a gas** è costituito dalla installazione di una nuova sezione nella centrale di Horseshoe Lake (Oklahoma, U.S.A.).

La sezione comprenderà una turbina a vapore e una turbina a gas per una potenza complessiva di 200 783 kW di massimo rendimento e una potenza di punta di 237 500 kW.

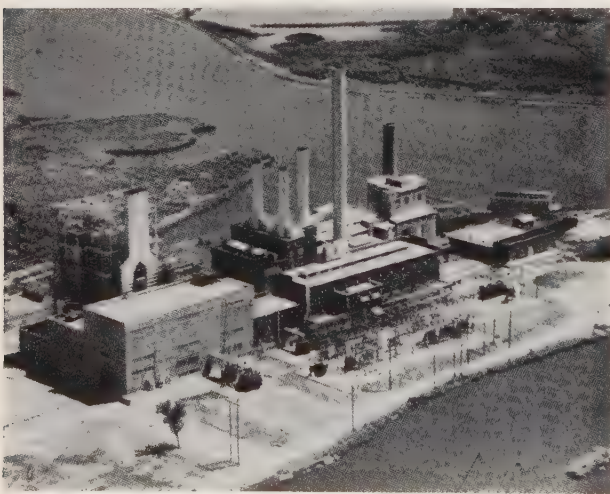


Fig. 1. — Vista della centrale di Horseshoe Lake.

Bruciando gas naturale, al carico di massimo rendimento è previsto un consumo unitario di 2382 cal/kWh.

La centrale comprende già altri 6 gruppi a vapore, il più recente dei quali, con turbina a surriscaldamento intermedio, ha una potenza di 178 000 kW.

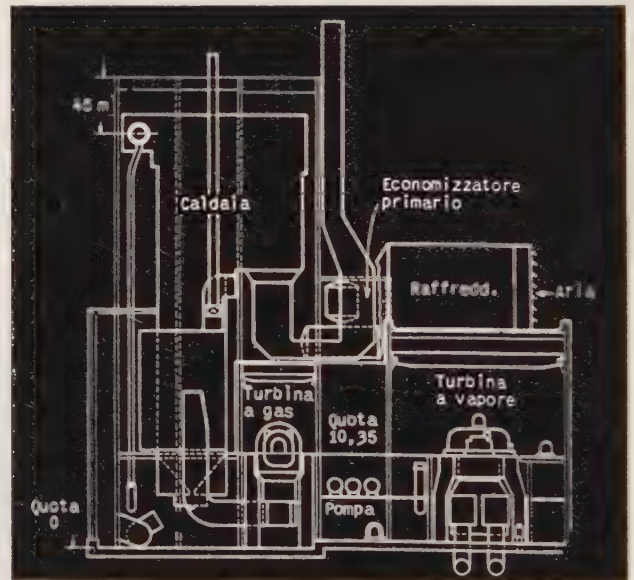


Fig. 2. — Sezione schematica della centrale.

gono ossigeno in quantità sufficiente per mantenere la combustione nella caldaia finché il carico non supera 201 000 kW circa.

A carichi superiori bisogna introdurre anche aria, la quale non viene preriscaldata perché l'economizzatore della caldaia basta per sfruttare completamente i fumi fino alla temperatura minima ammissibile.

In condizioni normali del vapore (133 kg/cm<sup>2</sup>, 540 °C), aria a 27 °C, e gas a 818 °C all'immissione in turbina, al carico complessivo di 200 783 kW, la potenza risulterà distribuita per circa 185 576 kW alla turbina a vapore e per 25 531 kW alla turbina a gas.

La potenza di punta di 237 500 kW è raggiunta elevando del 5 % la pressione di immissione del vapore in turbina, escludendo l'ultimo rigeneratore e portando la temperatura

dei gas all'immissione a  $870^{\circ}\text{C}$ ; in queste condizioni la turbina a gas fornisce 26 450 kW.

L'impianto è studiato in modo da rendere anche possibile il funzionamento indipendente del gruppo a vapore e di quello a gas.

La caldaia, capace di 61 t/h di vapore, non ha preriscaldatori.

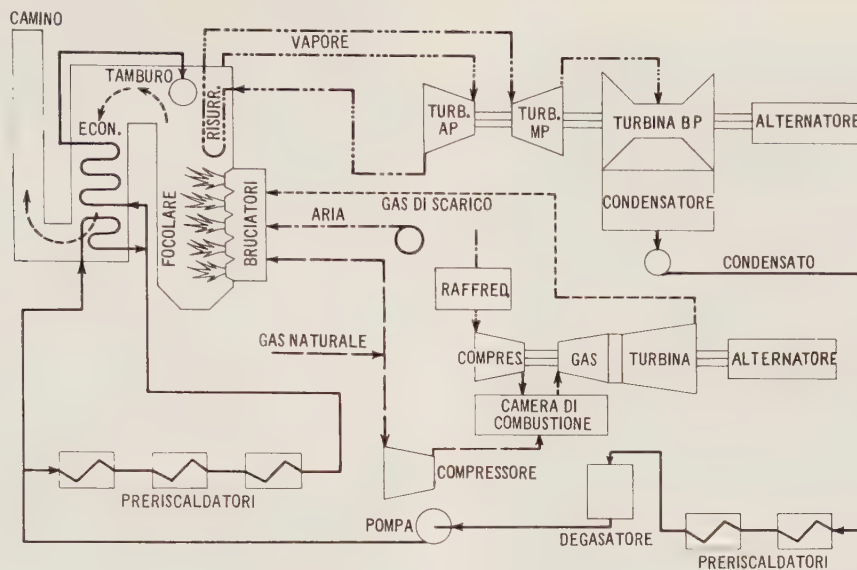


Fig. 3. — Schema generale dell'impianto combinato turbina a vapore e turbina a gas.

tore d'aria. L'economizzatore riduce la temperatura dei fumi a  $150^{\circ}\text{C}$ .

La turbina a vapore è del tipo a surriscaldamento intermedio fino a  $540^{\circ}\text{C}$ . Essa comanda un alternatore da 23 500 kVA, raffreddato con idrogeno alla pressione di  $2,1 \text{ kg/cm}^2$ .

La turbina a gas comanda un alternatore da 32 000 kVA, pure raffreddato a idrogeno.

(*Electrical World*, 14 agosto 1961).

\* \*

La centrale termoelettrica a vapore di Paradise, della Tennessee Valley Auth., che entrerà in servizio nel settem-

Su un albero sono montate: la turbina ad alta pressione a unico flusso; quella a pressione intermedia a doppio flusso; l'alternatore e la eccitatrice. Sull'albero a 1 800 giri/min è montata la turbina a bassa pressione, con 2 scarichi doppi, un alternatore e la sua eccitatrice.

Il vapore scaricato dalla turbina ad alta pressione, a  $36 \text{ kg/cm}^2$ , e  $343^{\circ}\text{C}$  viene portato al surriscaldatore intermedio e ritorna alla turbina a media pressione, a  $32 \text{ kg/cm}^2$  e  $538^{\circ}\text{C}$ .

Gli avvolgimenti statorici sono raffreddati direttamente ad acqua; il rotore e il ferro dello statore sono raffreddati a idrogeno. La sbarra di alternatore, a 24 kV, 10 000 A, di ciascun gruppo cross-compound è connessa direttamente a un trasformatore trifase da 375 MVA, 24/161 kV.

Le caldaie hanno un unico focolare in pressione con 2 pa-

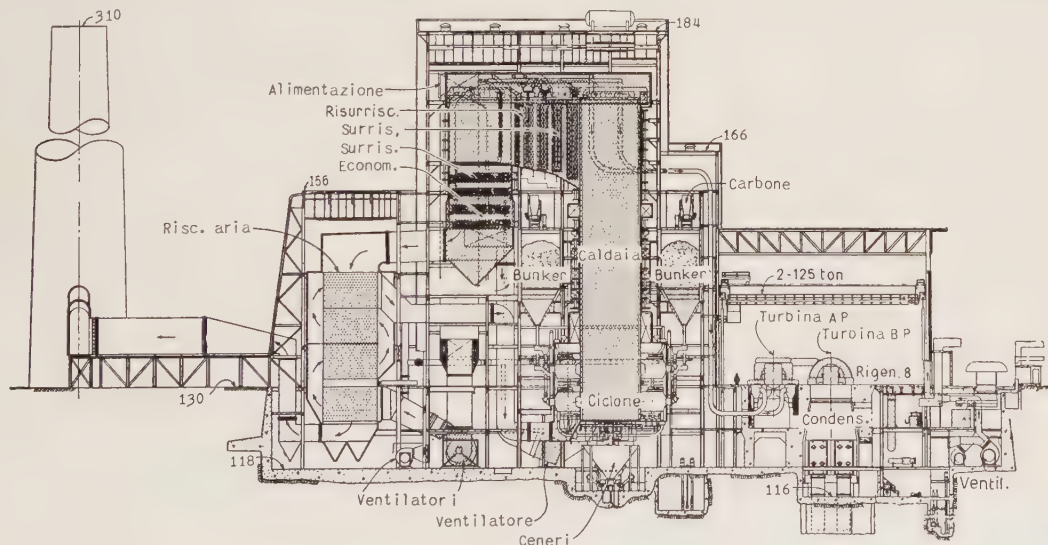


Fig. 1. — Sezione della centrale di Paradise.

bre 1962 avrà una potenza installata di 1 300 MW su 2 gruppi da 650 MW.

I gruppi, tipo cross-compound, comprendono ciascuno 2 alternatori da 325 MW, 361 111 kVA,  $\cos \varphi = 0,90$ , a 24 kV,

reti divisorie; sono del tipo a unico percorso con bruciatori a ciclone proporzionati per 2 200 t/h di vapore.

Il consumo unitario è previsto in 2 194 cal/kWh.

(Da *Electrical World*, 1° settembre 1961).



\* \*

**Un'antenna televisiva di 510 m di altezza.** — È stata recentemente ultimata nello Stato del Missouri (U.S.A.) e precisamente a Cape Girardeau, un'antenna televisiva che, con



Fig. 1. — Vista della grande antenna televisiva.

la sua altezza di circa 510 m, è attualmente la più alta del mondo superando di ben 210 m l'altezza dell'antenna della

mente costituita da tre piloni che si innalzano parallelamente, posti ai vertici di un triangolo equilatero di circa 3,04 m di lato, è controventata mediante sei ordini di funi di acciaio in ciascuno dei quali le tre funi sono poste a 120° l'una dall'altra.

I piloni sono costituiti da tondi di acciaio Men-Ten ad elevata resistenza del diametro massimo, alla base, di circa 185 mm, gradatamente decrescenti verso la sommità, collegati fra di loro mediante elementi orizzontali paralleli, posti alla distanza di circa 3,04 m, nonché mediante elementi diagonali incrociati nei riquadri formati dai primi e dalla parte dei piloni da essi compresa.

L'antenna comporta internamente un ascensore con doppio comando, uno in cabina e l'altro alla stazione di partenza a piano terra, una scala di servizio, nonché numerose piattaforme di ispezione e di manutenzione; l'apparecchiatura televisiva ed i cavi dell'energia elettrica di alimentazione sono stati opportunamente schermati; la messa a terra è effettuata dalla stessa antenna e dai sei ordini di funi di controventamento.

(Da « Acciaio », 10 ottobre 1961).

\* \*

Per rendere possibile la **installazione di una linea ad alta tensione in località molto congestionata** di altri servizi, è stata adottata da una Società americana una particolare soluzione costruttiva che rende minimo l'ingombro a terra. Si trattava di una linea a 115 kV per la quale le condizioni locali rendevano impossibile l'impiego di pali a traliccio con mensole e catene di isolatori secondo la tecnica classica.

Si adottarono pali singoli in legno, alti da 20 a 23 m, sui quali si montarono direttamente, senza mensole, isolatori portanti orizzontali (fig. 2).

Questi sono costituiti da 2 pezzi lunghi complessivamente 135 cm, e sono capaci di sopportare un elevato momento flettente, e sono provvisti di opportuni pezzi metallici di estremità.

Gli isolatori hanno una tensione di scarica di contornamento pari a quella di una catena a 7 elementi. Essendo gli isolatori montati orizzontalmente, la tensione di scarica sotto pioggia è pressochè eguale a quella a secco; i depositi di polvere vengono lavati più facilmente. Le esperienze hanno dimostrato che non si producono disturbi alle radiotrasmissioni.

La fig. 1 mette a confronto la sistemazione adottata con quella che si sarebbe avuta con una costruzione di tipo classico; si nota evidente il vantaggio offerto dalla nuova soluzione.

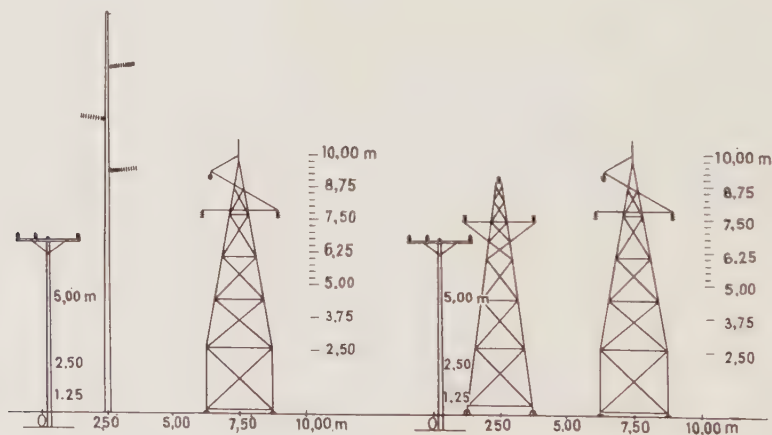


Fig. 1. — Confronto fra l'installazione della linea a 115 kV con la nuova soluzione e con la soluzione classica.

Torre Eiffel di Parigi e di 61 m quella dell'Empire State Building di New York.

L'antenna sorge sulla sommità di una piccola collina ed è incastrata in una fondazione in cemento armato; sostanzial-

Il conduttore intermedio della terna viene generalmente a trovarsi da una parte del palo opposta a quella degli altri due. Gli isolatori sono distanziati fra loro, lungo il palo, di 2,50 m. La massima campata della linea è di 90 m, quella

media di circa 80 m. Sulla testa dei pali è stata fissata una corda di guardia.



Fig. 2. — Lavori di montaggio della nuova linea.

Gli isolatori venivano montati sul palo a terra prima della messa in opera di esso.

(Da *Electrical World*, 25 settembre 1961).

\* \*

**Un kWh con 300 grammi di carbone.** — Nel primo anno di esercizio, il nuovo impianto termoelettrico americano da 450 000 kW sul fiume Clinch ha superato qualsiasi altra centrale elettrica oggi in funzione nel mondo per quanto riguarda il consumo unitario, ottenendo un chilowattora dalla combustione di circa 300 grammi di carbone.

Secondo recenti statistiche pubblicate dall'American Electric Power System, per dodici mesi, la centrale ha funzionato nel 1960 ad un ritmo di 8 975 B.T.U. per chilowattora pari a 2 261 cal/kWh.

\* \*

**Lampade con filamento di carburo di tantalio.** — La Union Carbide Corporation e la Polaroid Corporation hanno annunciato un nuovo procedimento, tuttora in fase sperimentale, per la costruzione di lampade elettriche ad incandescenza più luminose e durevoli.

Le caratteristiche delle lampade verrebbero migliorate con l'adozione di filamenti di carburo di tantalio al posto del tungsteno. A parità di assorbimento di corrente, le nuove lampade avrebbero una durata dal 50 al 100 % superiore e una maggiore luminosità.

Si prevede che la lampada verrà adoperata in un primo tempo negli uffici e negli stabilimenti dove occorre una luce intensa e diretta.

\* \*

**Un Simposio sulla utilizzazione razionale dell'energia elettrica,** promosso dal Comitato Economico per l'Europa, dell'ONU, si svolgerà a Varsavia dal 22 al 25 maggio 1962.

È già annunciata la partecipazione di 18 Paesi e la presentazione di oltre 100 Memorie. Dopo il simposio saranno effettuate visite ed escursioni dal 26 al 29 maggio.

Presso l'Ufficio Centrale dell'AEI sono disponibili alcuni moduli di iscrizione e programmi di massima.

Per informazioni rivolgersi a: Comité d'Organisation du Symposium 1962 - Ministère des Mines et de l'Energie (Krucza 36 - Varsovie).

\* \*

**Un Simposio internazionale su la teoria della informazione** si svolgerà a Bruxelles dal 5 al 7 settembre 1962, sotto il patronato del Gruppo sulla Teoria dell'Informazione, dell'IRE.

Eventuali Memorie devono essere fatte pervenire entro il 15 aprile 1962 al dr. F. L. Stumpers (Laboratoires de Recherches Philips - Eindhoven - Olanda), in lingua inglese o francese.

\* \*

**Una Conferenza Internazionale di Termotecnica,** associata al XVII Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana ATI sarà tenuta a Milano dal 22 al 27 novembre 1962.

In collegamento alla Conferenza sarà anche tenuta una **Mostra di Termotecnica** a carattere nazionale.

I temi della Conferenza internazionale sono stati così fissati: combustione, organi per la combustione, tipi di combustibili, dimensionamento degli apparecchi; metodi di controllo degli effluenti; la combustione nei grandi impianti; la combustione nei piccoli e medi impianti e i suoi riflessi per il riscaldamento negli agglomerati urbani.

Per informazioni rivolgersi a: Associazione Termotecnica Italiana (Milano, via del Politecnico 10).

\* \*

**Una esposizione riguardante la produzione di energia e la ricerca spaziale** si svolgerà a Londra dal 2 all'11 maggio 1962.

La esposizione riguarderà macchine, apparecchi e materiali per tutti i sistemi di produzione di energia con le relative installazioni accessorie, nonché tutto quanto riguarda la missilistica e la ricerca spaziale.

Durante la esposizione si svolgerà anche un simposio sulla produzione ausiliaria di energia per veicoli spaziali.

Per informazioni rivolgersi a: Provincial Exhibition Ltd. (City Hall, Deansgate, Manchester 3) oppure a: British Interplanetary Society (12 Bessborough Gardens, London S. W. 1).

\* \*

**L'VIII Simposio sul grado di fiducia e sul controllo di qualità nel campo dell'elettronica** sarà tenuto nei giorni 9, 10 e 11 gennaio 1962 presso lo Statler Hilton Hotel di Washington, sotto il patrocinio di: The Institute of Radio Engineers (I.R.E.), American Society of Quality Control (A.S.Q.C.), Electronic Industries Association (E.I.A.), American Institute of Electrical Engineers (A.I.E.E.).

Per ulteriori informazioni rivolgersi al dr. ing. Pasquale Tartara, SpA Telettra, Via C. Poma 47, Milano.

\* \*

L'Azienda Tranvie ed Autobus del Comune di Roma bandisce un **Concorso per titoli ed esami a 14 posti di Ingegnere « Capo Ufficio Principale »** in prova - categ. E 1 - Classe III.

Il concorso è limitato ai cittadini italiani di età compresa fra 25 e 35 anni.

Le funzioni di ingegnere dell'A.T.A.C. sono incompatibili con l'esercizio di qualunque impiego, professione, industria e commercio.

Per l'ammissione al concorso sono richiesti i seguenti requisiti: la laurea in ingegneria civile o industriale e il diploma dell'esame di Stato.

La domanda di ammissione al concorso, redatta su carta da bollo da L. 100 e corredata dai documenti di rito, rivolta



al Direttore dell'A.T.A.C., deve pervenire in plico raccomandato con ricevuta di ritorno alla Direzione dell'A.T.A.C. - Ufficio Concorsi - Via Volturmo, 65 - Roma, entro 60 giorni dalla data di pubblicazione del bando (30 ottobre 1961).

\* \*

Presso l'Istituto Superiore P.T. avrà inizio, in data 8 gennaio 1962, il **Corso di Specializzazione in Telecomunicazioni**, avente grado universitario ai sensi del R.D. n. 2483 del 19 agosto 1923, modificato con la Legge n. 317 del 5 giugno 1954.

Il corso si articola in due Sezioni: 1<sup>a</sup> Sezione: « **Servizi di Telecomunicazioni** », 2<sup>a</sup> Sezione: « **Controlli Automatici e Calcolazioni** ».

La 1<sup>a</sup> Sezione è divisa, a sua volta, in due rami: Telegrafico e Radiotecnico.

MATERIE D'INSEGNAMENTO E DOCENTI.

1<sup>a</sup> Sezione - Servizi di Telecomunicazioni.

Per la *Parte Propedeutica e Generale* (8 gennaio-30 maggio) si terranno i seguenti corsi comuni per i due rami: *Complementi di matematica* (L. Marchetti); *Fisica dei materiali e dei componenti elettronici* (D. Sette); *Tecnologia dei materiali e dei componenti elettronici* (D. Zanobetti, R. Manfrino); *Teoria della trasmissione elettrica delle informazioni a distanza* (A. Marino); *Teoria dei circuiti* (A. Ferrar-Toniolo); *Misure elettriche generali* (A. Porreca-Massangoli); *Elettronica generale* (G. Francini); *Tecnica delle iperfrequenze e relative misure* (B. Peroni).

Inoltre per il ramo telegrafico: *Principi di commutazione* (F. Lucantonio); *Tecnica ed economia dei collegamenti e dei servizi telefonici* (S. Treves) e per il ramo radiotecnico: *Onde elettromagnetiche* (D. Graffi); *Propagazione troposferica e ionosferica delle onde elettromagnetiche* (I. Ranzi).

Per la *Parte Speciale ed Applicativa* (15 settembre-15 dicembre) si terranno i seguenti corsi comuni: *Sistemi di trasmissione su cavi metallici* (R. Possenti); *Sistemi di trasmissione su cavi hertziani e guide d'onda* (B. Peroni); *Legislazione nazionale ed internazionale delle telecomunicazioni* (V. Insinna).

Inoltre per il ramo telegrafico: *Tecnica dei collegamenti e dei servizi telegrafici* (M. Bonacci); *Posa e costruzione di linee e cavi per telecomunicazioni* (A. Bigi); *Misure di collaudo e controllo sugli impianti telegrafici e telefonici* (D. Gagliardi); *Sistemi di commutazione telegrafici e telefonici* (F. Lucantonio, M. Bonacci) e per il ramo radiotecnico: *Tecnica dei collegamenti e dei servizi radiotecnici* (A. Sabbatini); *Tecnica dei servizi di radiodiffusione e di televisione* (F. Cappuccini); *Misure di collaudo e di controllo degli impianti radioelettrici* (A. Ascione).

2<sup>a</sup> Sezione - Controlli Automatici e Calcolazioni.

Per la *Parte Propedeutica e Generale* (8 gennaio-30 maggio): *Matematica logica* (R. Righi); *Complementi di matematica* (G. Rubino); *Fisica dei materiali e dei componenti elettronici* (D. Sette); *Tecnologia dei materiali e dei componenti elettronici* (D. Zanobetti, R. Manfrino); *Elettronica generale* (G. Francini); *Misure elettriche generali* (A. Porreca-Massangoli); *Teoria dei controlli automatici* (Parte 1<sup>a</sup>) (G. Evangelisti); *Tecnologia dei controlli automatici* (F. Guarnaschelli); *Principi scientifici e procedimenti numerici della ricerca operativa* (Parte 1<sup>a</sup>) (E. Aparo); *Rilevamento e determinazione dei costi nella organizzazione aziendale* (G. Riello).

Per la *Parte Speciale ed Applicativa* (15 settembre-15 dicembre): *Teoria dei controlli automatici* (Parte 2<sup>a</sup>) (G. Evangelisti); *Calcolatrici analogiche* (A. Ruberti); *Calcolatrici numeriche* (R. Vacca, P. Ercoli); *Principi scientifici e procedimenti numerici della ricerca operativa* (Parte 2<sup>a</sup>) (E. Aparo).

Oltre agli insegnamenti delle materie sopra indicate, saranno tenuti cicli di conferenze su argomenti specializzati da parte di personalità di chiara fama scientifica e tecnica, italiane e straniere, scelte nel campo universitario e nel campo industriale.

Potranno essere ammessi, previo giudizio di apposita Commissione, in base ai titoli posseduti dai richiedenti:

— alla prima Sezione (Telecomunicazioni), i laureati in

ingegneria elettronica, elettrotecnica ed eccezionalmente, per un massimo di cinque posti, i laureati in fisica;

— alla seconda Sezione (Controlli automatici e Calcolazioni), i laureati in ingegneria ed eccezionalmente, per un massimo di quattro posti, i laureati in fisica o in matematica.

Gli aspiranti non dovranno aver superato gli anni 32 alla data del presente avviso.

Potranno inoltre far domanda di ammissione, come uditori, i laureandi in ingegneria o in fisica, o in matematica, nell'intesa che non saranno ammessi agli esami se non dopo il conseguimento della laurea.

Le domande di ammissione al corso, redatte su carta da bollo da L. 200, corredate dai documenti di rito, dovranno pervenire all'Ufficio Istruzione Professionale dell'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni (Viale Trastevere n. 189 - Roma) entro il 27 dicembre 1961. Tuttavia, potranno eccezionalmente essere prese in considerazione anche le domande che perverranno successivamente a tale data e comunque non oltre il termine ultimo del 15 gennaio 1962.

Un certo numero di borse di studio, che saranno messe a disposizione da vari Enti privati, dell'importo complessivo di circa L. 750 000 ciascuna, potranno essere attribuite ad altrettanti allievi, scelti fra quelli in possesso della cittadinanza italiana.

\* \*

**Corso di Perfezionamento in Ingegneria Nucleare « Giovanni Agnelli »** presso il Politecnico di Torino.

Esso comprende i seguenti insegnamenti:

1) *Fisica nucleare*; 2) *Chimica degli impianti nucleari*; 3) *Tecnologie nucleari*; 4) *Reattori nucleari*; 5) *Impianti nucleari*; oltre a lezioni propedeutiche di fisica atomica ed a serie di conferenze sulla protezione dalle radiazioni, sulla strumentazione e regolazione automatica, sull'impiego dei traccianti, sulla economia degli impianti ed altri argomenti complementari.

Esercitazioni sperimentali avranno luogo sia presso gli Istituti di Fisica Tecnica e di Fisica sperimentale del Politecnico, sia presso il Reattore nucleare del Centro SORIN a Saluggia.

L'insegnamento di Impianti Nucleari comprenderà l'avviamento a calcoli di progetto, ed il disegno relativo.

Potranno iscriversi al Corso i dottori in ingegneria, mediante presentazione alla segreteria del Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, entro il 31 dicembre 1961, di regolare domanda.

Gli iscritti al Corso di Perfezionamento in Ingegneria Nucleare, che abbiano conseguito la laurea in Ingegneria con una votazione nell'esame finale superiore agli 88/110, possono concorrere al conferimento di n. 4 borse di studio di L. 600 000 cadauna che verranno corrisposte in dodici rate mensili.

\* \*

**Festeggiamenti a un benemerito industriale elettrotecnico.**

— In occasione dell'ottantesimo compleanno del comm. Federico Palazzoli, si è svolta il 2 settembre u.s., una simpatica manifestazione.

Il noto industriale bresciano ha visto raccolti intorno a sé, a Gardone, tutti, praticamente, i componenti le maestranze e i dirigenti della Sua azienda, oltre a un folto gruppo di amici e di simpatizzanti e molte autorità locali, ed è stato fatto oggetto di manifestazioni di vivissima simpatia e di plauso per la sua attività che ha portato la S.p.A. Federico Palazzoli e C. Industria Elettrotecnica ad affermarsi in modo così cospicuo fra le industrie nazionali.

In tale occasione è stato anche annunciato che il festeggiato, del quale sono ben noti i meriti nella industria e nelle attività sociali e assistenziali, è stato nominato Grande Ufficiale della Repubblica.

All'egregio Consocio, che anche recentemente ha dimostrato in modo molto efficace il Suo attaccamento alla nostra ABI, vada anche da queste pagine un plauso sincero e un cordiale augurio.

# LIBRI E PUBBLICAZIONI

W. PLATH: *Die Niederspannungs-Schaltanlagen*. (B. Oldenbourg Verlag, Monaco 1960. Un volume di 302 pagine, con 313 figure. Prezzo, rilegato, 72 DM).

Nella letteratura tecnica gli impianti a bassa tensione sono in generale meno frequentemente e meno ampiamente trattati che non gli impianti ad alta tensione. Eppure è evidente la loro importanza essenziale per il buon funzionamento di tutte le applicazioni industriali.

Il libro che presentiamo si occupa proprio in particolare della progettazione e della costruzione degli impianti elettrici a bassa tensione ed interessa perciò una larghissima schiera di tecnici progettisti, costruttori o esercenti di impianti. Un'opera così completa e documentata in questo campo di specializzazione non è frequente nella letteratura tecnica.

Il libro è concepito con carattere pratico e applicativo; le questioni di ordine teorico o prevalentemente matematico esulano dalla economia del volume. Ricca è invece la dotazione di tabelle numeriche (37 in tutto) che riusciranno di grande utilità per i progettisti. Le molte buone figure crescono in larga misura la efficacia del testo.

Il volume si apre con la considerazione delle correnti di corto circuito e loro influenza sulle apparecchiature. Seguono diversi capitoli dedicati agli strumenti di misura, ai conduttori nudi o isolati, alle cavetterie, ai quadri e loro accessori. Si passa poi all'esame dei dispositivi di protezione, relè ecc. Un capitolo è anche dedicato alle apparecchiature elettroniche o magnetiche; un altro tratta degli impianti ausiliari, batterie, impianti pneumatici ecc. Il libro si chiude con la trattazione delle prese di terra e dei dispositivi di protezione contro gli infortuni.

✱

*Medical Electronics: Proceedings of the Second International Conference on Medical Electronics. Paris 24-27 June 1959.* (Edited by C. N. Smyth. London, Iliffe & Sons Ltd. Un volume di 614 pagine compresi 400 diagrammi e illustrazioni fotografiche. Prezzo netto 145 s.).

Le applicazioni della elettronica alla medicina vanno sviluppandosi da alcuni anni con ritmo rapidamente crescente, tanto che l'elettronica rappresenta oggi una delle armi più efficaci di cui il medico ed il chirurgo possono avvalersi nello svolgimento della loro missione.

Ricordando che un grande scienziato quale fu Helmutz dedicò i suoi studi giovanili alla medicina e, dopo avere conseguito notevoli esperienze in questo campo, passò alla fisica portando contributi fondamentali al suo sviluppo, qualcuno ha pensato che oggi sarebbe oltremodo desiderabile che un certo numero di ingegneri e di fisici volgessero i loro studi e la loro attenzione alla medicina. Ciò allo scopo di consentire a questi ultimi di avvantaggiarsi delle enormi possibilità offerte dalle più recenti conquiste della fisica e della ingegneria.

Lo scambio di conoscenze fra ingegneri e fisici da un lato e medici dall'altro non è ancora intenso come sarebbe desiderabile, ma grandi passi sono stati compiuti e si stanno compiendo nella direzione auspicata. Ne è testimonianza il volume che oggi presentiamo, il quale sotto il titolo *Medical Electronics* raccoglie le memorie presentate alla seconda conferenza internazionale di « medicina elettronica » (questa denominazione è alquanto impropria, ma vale la pena di conservarla in quanto è ormai generalizzata) che si è tenuta a Parigi fra il 24 ed il 27 giugno 1959.

Fra gli organizzatori del Convegno figurano nomi illustri di elettronici e di medici. Elettronici e medici sono, peraltro, gli autori delle numerose memorie contenute nel volume, il quale costituisce pertanto una testimonianza dell'intenso scambio di vedute che si è avuto nel convegno in parola fra cultori di scienze tanto diverse come lo sono l'elettronica e la medicina.

Non è, naturalmente, possibile riassumere qui in breve il contenuto del volume che raccoglie n. 80 memorie ben distribuite fra i temi della conferenza, concernenti le tecniche

elettrofisiologiche, l'elettroencefalografia, la cardiologia, la manometria e misure di flusso, tecniche acustiche, applicazioni della automazione nella medicina, radiologia ed isotopi, strumentazione chimica.

Non si può pretendere che quest'opera presenti quei caratteri di uniformità che avrebbe qualora gli argomenti ora elencati fossero stati trattati da uno o pochi autori collegati tra di loro. Più che di un inconveniente si tratta qui di carattere comune a tutti i rendiconti dei Congressi, ma ciò che più importa rilevare è il fatto che le applicazioni della elettronica alla medicina danno luogo a metodi ed apparecchiature altamente specializzate le quali mal si prestano ad una esposizione coordinata e che, pertanto, è bene considerare a fondo ed isolatamente come hanno potuto fare gli Autori delle relazioni contenute in « *Medical Electronics* ».

✱

*Enzyklopädie der elektrischen Isolierstoffe - Klassifikation, Vergleichstabellen, Uebersichtsblätter.* (Zurigo; edito a cura del Schweizerischer Elektrotechnischer Verein; 1960. Un volume di 20,5 x 29,5 cm, di 84 pagine. Prezzo 22 franchi svizzeri).

La pubblicazione curata dalla Associazione degli elettrotecnici Svizzeri, ha uno scopo eminentemente pratico e la sua utilità è grandissima per tutti i progettisti e i costruttori di macchinario e apparecchiatura elettrici.

Lo scopo è quello di rendere facile il riconoscere le caratteristiche fisiche e chimiche dei principali materiali isolanti attualmente usati e di fornire direttive e notizie sui relativi campi di più opportuno impiego. Chi pensi alla congrue di materiali isolanti attualmente disponibili sul mercato, alla difficoltà di trovare fonti sicure e obiettive di notizie al loro riguardo e, d'altra parte, la molteplicità delle esigenze e delle modalità di impiego a cui un progettista e un costruttore deve soddisfare, potrà equamente apprezzare il valore e l'utilità di questa pubblicazione per la quale tutti gli elettrotecnici devono essere grati ai colleghi svizzeri.

Il volume si apre con due tabelle di classificazione generale dei materiali isolanti, secondo le principali caratteristiche, in 40 gruppi distinti; la classificazione comprende gli isolanti gassosi, liquidi e solidi.

A ciascun gruppo sono poi successivamente dedicate una o più tabelle nelle quali, per ciascuno dei materiali facente parte del gruppo considerato, sono considerate le caratteristiche rispetto alle principali grandezze chimiche e fisiche: sono dati, dove possibile, i valori numerici ed è indicato con facile accorgimento grafico il più o meno buon comportamento del singolo materiale.

Le tabelle sono accompagnate da un succinto ma efficace testo esplicativo e illustrativo e, quando occorre, da note chiarificatrici.

Il tecnico ha così sottomano un prontuario di immediata e facile consultazione che può essere prezioso per un primo orientamento di massima e che può far risparmiare molto tempo prezioso e far evitare errori forieri di gravi conseguenze.

La pubblicazione merita di essere fatta conoscere largamente fra gli elettrotecnici.

✱

K. STEINBUCH: *Automat und Mensch*. (Springer Verlag, Berlino, 1961. Un volume di 14 x 21 cm, di 253 pagine con 92 figure. Prezzo, rilegato, 28,50 DM).

Si tratta di un libro curioso fra il tecnico e il filosofico, fra lo scientifico e il divulgatore: comunque, certamente, un libro serio, che si fa leggere con grande interesse da ogni persona colta, ricco di informazioni e di notizie obiettive così come di considerazioni e vedute personali. Nella intenzione dell'A. esso deve prospettare i problemi posti dallo sviluppo degli automatismi in relazione alla conoscenza della attività fisiologica e intellettuale dell'uomo.



\*

Questa impostazione porta l'A. a scorrere nei campi più diversi, sempre però senza perdere di vista la direttiva fondamentale.

Il libro si apre con nozioni sul sistema nervoso e gli schemi fondamentali del suo funzionamento. Si passa poi a trattare ampiamente dei segnali e della teoria dell'informazione, con riferimento alla parola e alla memoria. All'argomento si riconnette quello delle regolazioni e degli automatismi dai quali si passa a parlare dei riflessi umani, del ragionamento e della intelligenza. Dopo aver introdotto anche il principio economico, l'A. chiude con considerazioni generali su l'automa e l'uomo.

Il libro è anche corredato da una ricchissima bibliografia. Non è possibile in breve spazio fare una critica di un simile libro che può prestarsi a interminabili discussioni. Ma segnaliamo volentieri la serietà della impostazione e l'interesse grande degli argomenti trattati che trattengono fino in fondo l'attenzione del lettore anche quando non condivide interamente le idee dell'A.

\*

A. G. THOMAS - P. G. H. RATA: *Aluminium busbar*. (Londra, 1960. Un volume di 14 x 23 cm, di 105 pagine con numerose figure e tabelle. Prezzo, rilegato, 21 s.).

Il volume, pubblicato a cura della Hutchinson Scientific and Technical per la Northern Aluminium Co. Ltd, costituisce una esposizione pratica della costruzione e della messa in opera delle sbarre di alluminio negli impianti elettrici.

Dopo un capitolo generale sulle proprietà dell'alluminio e sui criteri generali di progetto, vengono prese in considerazione le sbarre da installare in impianti a corrente continua oppure a corrente alternata; per queste ultime è dato particolare rilievo a quanto ha attinenza all'effetto pellicolare e sue conseguenze pratiche.

Segue poi un capitolo sul calcolo della reattanza, con l'uso, in particolare, di appositi grafici; sono anche riportati alcuni esempi svolti. Un capitolo è dedicato al calcolo degli sforzi agenti sulle sbarre, in condizioni normali o di emergenza.

Gli ultimi capitoli sono di carattere applicativo e costruttivo e riguardano la installazione delle sbarre a fasi isolate e la tecnica delle giunzioni e dei collegamenti.

Tutto il libro è improntato a criteri di grande praticità e di immediata applicabilità. La forma è essenzialmente descrittiva e illustrativa; le formule vengono riportate e discusse per quanto ha diretta attinenza al loro impiego pratico; preferibilmente gli AA. si attengono all'uso di grafici, diagrammi e tabelle numeriche, di cui il volume è abbondantemente corredato.

Molte buone figure e fotografie di impianti illustrano particolari costruttivi o di installazione e accrescono la efficacia del testo.

Il volume è anche corredato da un'ampia bibliografia, e da un accurato indice analitico.

Progettisti e costruttori di impianti elettrici potranno utilmente consultare questo volume.

\*

J. BERNOT - C. JARRY: *Electrothermie*. (Librairie Armand Colin, Parigi. Un volume di 11 x 16,5 cm, di 208 pagine con 40 figure. Prezzo 4,5 NF).

In questo piccolo volume gli AA. cercano di tracciare un quadro delle applicazioni termiche dell'elettricità nei più vari campi. Il tema è forse troppo vasto per la modesta mole del libro, e necessariamente alcuni argomenti sono semplicemente accennati; altri sono sviluppati in forma un poco più ampia ma sempre in forma descrittiva e informativa.

La maggior parte del volume è occupata da 4 capitoli che trattano rispettivamente del riscaldamento a resistenza, del riscaldamento ad arco, dei forni a induzione e del riscaldamento per isteresi. Ma troviamo anche capitoli sui forni a ferro-leghe, sul riscaldamento a raggi infrarossi, sulla saldatura ecc.; ed anche su argomenti di grande attualità come il bombardamento elettronico, la raffinazione per zone fuse, il raffreddamento termoelettrico ecc.

Il volume può essere utile per chi, digiuno dell'argomento, voglia acquistarne rapidamente una conoscenza qualitativa e informativa.

J. B. BIRKS - J. HART: *Progress in Dielectrics*. Vol. III. (Londra. Heywood and Co. Ltd 1961. Un volume di 15 per 24 cm, di 292 pagine. Prezzo 63 s.).

Il presente volume è il terzo di una serie cominciata dall'editore il quale si propone di pubblicare ogni anno un volume in cui vengano trattati, con alcuni scritti di specialisti e in modo critico, particolari aspetti della tecnica dei materiali dielettrici in relazione ai continui progressi di essi.

Questo terzo volume riguarda le proprietà dei dielettrici nei campi deboli, considerando il tema da punti di vista molto diversi che interessano più propriamente il fisico oppure il tecnico.

Si tratta in totale di 6 scritti monografici dovuti a differenti autori e indipendenti fra loro.

Il primo lavoro, dovuto a D. G. Kiely, tratta delle applicazioni dei dielettrici nel campo delle microonde, come guide d'onda o antenne. Segue un capitolo, dovuto a R. H. Cole, che costituisce una esposizione generale, in tono altamente scientifico, delle teorie della polarizzazione e dell'assorbimento nei dielettrici. Trattando delle proprietà dielettriche dell'acqua, allo stato libero o legato, J. B. Hasted, illustra l'importanza delle ricerche sperimentali e teoriche necessarie per chiarire le proprietà di particolari molecole. Un'ampia discussione sul meccanismo dell'assorbimento nei dielettrici solidi dal punto di vista chimico e fisico è esposta da R. J. Meakins, con riferimento a un grande numero di materiali organici e inorganici.

Gli ultimi due scritti hanno più diretto riferimento alla tecnica, C. W. Hamilton tratta dei recenti progressi nella tecnica dei cavi in America specialmente con l'impiego dei polimeri. Nell'ultimo scritto R. Stratton presenta una esposizione della teoria della perforazione nei dielettrici solidi, con ampio apparecchio matematico e larga discussione critica.

Il volume, impostato ad alto livello tecnico e scientifico, è del più grande interesse per chi voglia seguire seriamente gli sviluppi di questo importante campo della tecnica.

\*

R. RIGHI: *Algebra booleana con applicazioni alla teoria degli automatismi e dei contatti*. (Edito dal Ministero Poste e Telecomunicazioni - Istituto Superiore P.T. Un volume di 16 x 24 cm, 534 pagine, 255 figure).

Il volume riproduce esattamente le lezioni tenute dall'A. per l'insegnamento di Matematica logica al Corso di Specializzazione nelle telecomunicazioni tenutosi nel primo semestre del 1960 presso l'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni in Roma. Il corso di specializzazioni era riservato agli ingegneri, ai laureati in matematica ed in fisica.

Tale insegnamento era inteso allo studio dei circuiti che attuano funzioni logiche secondo il pensiero di George Boole. Questo motivo dà il perchè del titolo di Algebra booleana, anche se l'A. è andato più in là. Infatti invece di limitarsi a partire direttamente dall'algebra delle classi, l'A. ha voluto inquadrare la teoria booleana nella sua esatta posizione rispetto alla matematica degli insiemi di cui dà un ampio cenno e in quella dei reticoli di cui l'algebra booleana costituisce un particolare tipo.

L'A. prende quindi lo spunto dalle proprietà dell'insieme generico per passare via via alle proprietà degli insiemi ordinati, a quella del reticolo, del reticolo modulare, del reticolo distributivo ed infine del reticolo booleano od algebra booleana. Con lo studio dell'algebra booleana e con quello delle rappresentazioni e metodi di semplificazione delle espressioni booleane si chiude la prima parte del volume.

Questa prima parte è di interesse generale e la sua stesura è tale da far risparmiare tempo notevole agli interessati che trovano riunito in un solo volume trattazioni che diversamente sarebbero obbligati a ricercare in svariate opere, dei più diversi autori. In particolare è adatta agli studiosi di elettrotecnica in quanto gli sviluppi matematici sono intesi alla loro applicazione a questa disciplina.

La seconda parte è più specializzata e tratta delle applicazioni dell'algebra booleana ai circuiti elettrici di commutazione a contatti.

Lo studio di tali circuiti è in considerazione della loro applicazione agli automatismi a sequenze. Si fa anche cenno ai principi generali che li governano fra i quali il principio deterministico di Moisisl.

B. Devin — **Alcune applicazioni pratiche dell'effetto Hall.**  
(Direct Current, marzo 1961, pag. 122).

L'effetto fu scoperto dal fisico americano Hall nel 1879. Nei metalli, ad eccezione del bismuto, la sua entità è troppo limitata per consentire applicazioni pratiche. Nei semiconduttori l'effetto Hall è fino a  $10^6$  volte più notevole che nei metalli.

Si consideri una lamina rettangolare di materiale semiconduttore (fig. 1) con elevata mobilità elettronica, la quale sia percorsa da una corrente  $I$ . La corrente è data

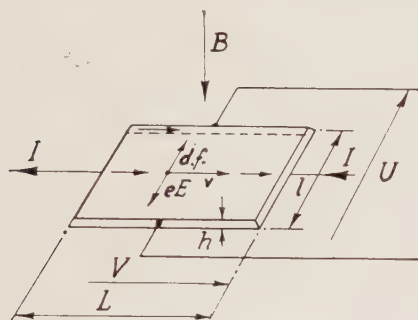


Fig. 1 — Schema dell'effetto Hall su una lamina

dallo spostamento di elettroni o di lacune nell'interno della lamina. Contrariamente al caso dei metalli nei quali il numero di elettroni capaci di condurre corrente elettrica è molto elevato ( $10^{22}$  per  $\text{cm}^3$ ) e la loro velocità è piccola, qui si ha un numero relativamente piccolo di portatori di cariche (dell'ordine di  $10^{16}$  a  $10^{17}$  per  $\text{cm}^3$ ), elettroni, lacune, ma capaci di venire mossi molto più rapidamente.

Se un campo magnetico  $B$  è applicato perpendicolarmente alla lamina, ciascun portatore di cariche viene a trovarsi soggetto a una forza perpendicolare alla sua velocità e proporzionale al campo. Si produce perciò una migrazione globale degli elettroni verso uno dei bordi della lamina dove si produce un aumento di cariche. Lo stato stabile corrisponde all'equilibrio fra la forza applicata ad ogni elettrone e la forza repulsiva dovuta al campo elettrostatico creato dall'accumularsi delle cariche.

Ponendo 2 elettrodi su una linea trasversale si rileverà una differenza di potenziale che sarà direttamente proporzionale alla velocità  $V$  media dei portatori di cariche: si capisce quindi il vantaggio di usare materiali con elevata mobilità elettronica.

La tensione di Hall così creatasi si può esprimere in due modi equivalenti:

$$U = \mu B V \frac{l}{L}$$

dove  $\mu$  esprime la mobilità elettronica,  $l$  e  $L$  sono le dimensioni della lamina e  $V$  la tensione applicata.

Si può anche scrivere

$$U = \frac{A}{ne} \frac{I_0 B}{h}$$

dove  $e$  è l'unità di carica,  $n$  il numero di cariche per  $\text{cm}^3$ ,  $h$  lo spessore della lamina,  $A$  una costante di proporzionalità (prossima all'unità) e  $I_0$  la corrente.

Il valore  $A/ne$  si definisce costante di Hall.

Gli elettrodi alle estremità della piastra costituiscono un corto circuito per la tensione di Hall: il loro effetto può essere trascurato se il rapporto  $L/l$  è maggiore di 2,3.

Il fatto che i materiali adoperati siano policristallini

non influisce sull'effetto di Hall in quanto il percorso libero delle cariche è notevolmente inferiore alle dimensioni delle singole cristalliti.

La tensione generata per effetto Hall cambia di segno se si inverte il senso del campo magnetico applicato.

Nella tabella sono riportati dati caratteristici di alcuni materiali che presentano l'effetto Hall.

Materiale	resistività $\Omega\text{cm}$	coefficiente di Hall $\text{cm}^3 \text{A}^{-1} \text{s}^{-1}$	mobilità $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$
Metalli	1 a $10 \times 10^{-6}$	5 a $100 \times 10^{-6}$	10 a 100
Bismuto	$1,8 \times 10^{-3}$	5 a 10	$5 \times 10^3$
» tipo n {	1 5 25	$4,5 \times 10^3$ $2,1 \times 10^4$ $8,7 \times 10^4$	$3,5 \times 10^3$
Silicio tipo n {	1 4	$1,42 \times 10^3$ $7,1 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$
InAs tipo n {	$5 \times 10^{-3}$ $10^{-1}$	$1,15 \times 10^2$ $3,7 \times 10^3$	$2,3 \times 10^4$ $3,5 \times 10^4$
InSb tipo n	$3 \times 10^{-4}$	21	$6 \times 10^4$
InP	0,5	$5 \times 10^2$	$3,4 \times 10^3$
GaAs	$10^{-1}$	$6 \times 10^2$	$8 \times 10^3$

## APPLICAZIONI.

La formula fondamentale suggerisce le più immediate applicazioni.

La misura della costante di Hall e della mobilità in funzione delle condizioni esterne, come la temperatura, la pressione o le irradiazioni permettono di acquisire conoscenze sulla struttura delle bande di energia e sulle perturbazioni nella struttura cristallina.

La misura della costante di Hall è molto applicata per lo studio dei semiconduttori.

Un cristallo di germanio assoggettato a un bombardamento di neutroni, a livello noto di energia, presenta nella sua struttura cristallina un numero di difetti proporzionale al numero totale di particelle che lo hanno attraversato. Questi difetti introducono in generale livelli di energia che sono ricevitori e il numero delle cariche viene così modificato. Una misura del coefficiente di Hall e della resistività permette di arrivare a conoscere il numero di difetti che è stato prodotto e quindi il flusso totale di neutroni che il cristallo ha ricevuto.

Si può così costruire un dosimetro da impiegare in relazione ai reattori nucleari per conoscere il flusso totale ricevuto in un dato tempo. Dopo l'uso, il dosimetro può essere rigenerato riscaldandolo a circa  $600^\circ\text{C}$ .

Si possono realizzare misure di potenza, con lo schema di fig. 2. Una parte della corrente viene fatta passare attraverso il cristallo il quale viene posto entro un campo magnetico creato da una bobina alimentata dalla tensione di rete. Il dispositivo è sensibile allo sfasamento del campo e della corrente e fornisce valori istantanei della potenza: attiva o reattiva secondo la regolazione di fase del campo rispetto alla tensione di rete.

La fig. 3 rappresenta un dispositivo moltiplicatore.

La relazione fra le 3 tensioni è la seguente:

$$U = k a_1 a_2 V_1 V_2$$



Se  $V_1$  e  $V_2$  sono due tensioni continue di qualunque segno, la tensione  $U$  è proporzionale al loro prodotto e dà anche il segno di esso. La linearità è molto buona perchè

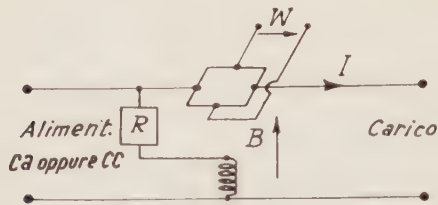


Fig. 2 — Wattmetro

B: induzione proporzionale alla tensione; R: circuito sfasatore.

non si verifica saturazione del circuito magnetico. Si possono raggiungere 40 dB senza speciali precauzioni.

Questo dispositivo può anche essere usato in calcola-

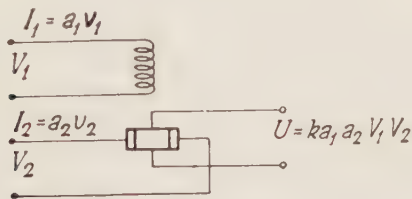


Fig. 3 — Moltiplicatore

trici a 400 Hz. Si può usare una tensione alternata con valore  $V_1$  e una tensione continua con valore  $V_2$ .

Si possono anche realizzare *circuiti modulatori*.

#### MAGNETOMETRO DI PRECISIONE.

Utilizzando l'effetto Hall nella misura di campi magnetici si può realizzare un magnetometro di precisione; la fig. 4 rappresenta lo schema di un apparecchio costruito a tale scopo.

Se si adopera un esemplare di sufficienti dimensioni, si può ottenere una tensione di effetto Hall dell'ordine di 400 mV per 10 kilogauss. In un apparecchio citato dal-

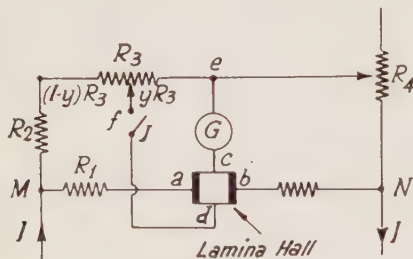


Fig. 4 — Magnetometro

l'A. si adopera un esemplare costituito da arseniuro d'indio e da fosforo di indio per il quale la variazione delle caratteristiche in funzione della temperatura è molto piccola.

Una corrente di comando entra dai morsetti M ed N (fig. 4). Tutte le tensioni sono proporzionali alla corrente di comando: la tensione di Hall e la tensione opposta  $y R_3$ ; si è perciò liberi riguardo alla sorgente della corrente.

La misura viene effettuata in due stadi.

Si apre l'interruttore J e la resistenza regolabile  $R_4$  viene regolata in modo da portare il punto e allo stesso potenziale del punto c.

Si chiude l'interruttore J e si porta il cursore del potenziometro elicoidale  $R_3$  in posizione tale da rendere il punto f allo stesso potenziale del punto d.

La tensione di Hall  $c d$  è eguale alla tensione  $f e$ . Il

potenziometro  $R_3$  può venire direttamente graduato in valori di campo magnetico.

Variazioni di  $R_4$  portano, a valori elevati di campo, un aumento nella corrente circolante nel braccio superiore del ponte che può introdurre una non linearità nella let-

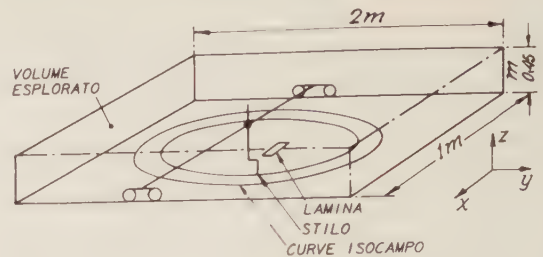


Fig. 5 — Tracciatore di campo

tura, ma la costante di Hall del generatore aumenta lentamente col campo magnetico come anche la resistenza dell'esemplare per effetto di magneto resistenza. Queste due non linearità si compensano quasi esattamente per un certo valore delle impedenze  $(R_2 + R_3)/R_1$ . La linearità risultante è dell'ordine di  $10^{-3}$ .

La precisione dell'apparecchio dipende dalla stabilità dei suoi diversi componenti e si incontrano perciò qui le stesse difficoltà delle misure di precisione in corrente continua, riguardo all'effetto della temperatura, all'assenza di gradiente e di induzioni parassite; inoltre va tenuto conto della stabilità dell'esemplare di cristallo. Questo ha un coefficiente negativo di temperatura dell'ordine di  $0,5 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ ; facendo uso di un termistore in intimo contatto con l'esemplare si può ottenere un guadagno, secondo un fattore 10, riguardo alla stabilità termica.

Una soluzione migliore per ottenere una stabilità termica a lunga scadenza consiste nella stabilizzazione termica dell'esemplare stesso.

La riproducibilità delle misure è dell'ordine di  $10^{-4}$  per campi intensi e di 0,1 gauss per campi deboli. Non vi sono limiti superiori circa la intensità dei campi che possono venire misurati, per quanto si abbiano qualche difficoltà nella taratura del dispositivo per campi superiori a 20 kG.

La taratura viene fatta per confronto con un magnetometro di tipo a risonanza nucleare.

Una causa di errore consiste nel gradiente termico nel potenziometro a 50 spire. In pratica il cursore è fatto necessariamente di un materiale diverso da quello delle spire e ne nasce una forza termoelettromotrice dell'ordine di  $20 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , che dà luogo a un errore di 1 gauss. La difficoltà è stata superata adottando una custodia in rame puro.

#### APPLICAZIONI AL SINCROTRONE.

Sono stati anche sviluppati metodi di misure di campo nei quali l'esemplare è alimentato in corrente alternata, per evitare le difficoltà di origine termoeletttrica. Si è per questa via arrivati a costruire due tipi di apparecchi: un tracciatore automatico dell'intensità di campo, e un magnetometro registratore automatico, che vengono impiegati per i magneti del Sincrotrone Saturno del C.E.N.S.

La realizzazione meccanica dell'apparecchio tracciatore ha assunto la forma di un carrello che permette lo spostamento dell'esemplare del materiale ad effetto Hall secondo 3 dimensioni. Il volume esplorato è di circa  $0,9 \text{ m}^3$ .

Gli spostamenti secondo gli assi  $x$  e  $y$  sono automatici; quelli secondo l'asse  $z$  si compiono a mano (fig. 5).

L'esemplare è alimentato in corrente alternata; la tensione di Hall viene amplificata, rivelata e confrontata con tensioni continue che rappresentano valori arbitrari del campo. Uno stilo traccia su un foglio di carta la curva quando il campo prende questi prestabiliti valori. Si ottengono così le curve isocampo. I valori estremi possono essere regolati e le spaziature fra le curve isocampo pos-

sono essere scelte di 500 - 1 000 - 1 500 - 2 000 - 2 500 - 3 000 gauss.

La precisione è limitata dalla velocità di scrittura e

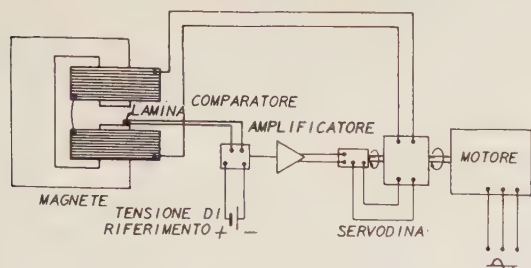


Fig. 6 — Regolazione di campo magnetico

l'errore è dell'ordine di 30 gauss in 15 000 gauss. Il dispositivo rende possibile di verificare l'andamento del campo in grandi magneti in un tempo di circa 3 ore, facendo uso di un diagramma di 1 x 2 m, con curve ogni millimetro; coi metodi precedentemente usati occorre- vano due settimane.

Per regolare, il più finemente possibile, la corrente degli elettromagneti dei grandi sincrotroni con gli ordinari apparecchi di regolazione, si incontrano difficoltà, nei grandi impianti, perchè le variazioni stagionali di temperatura e d'isteresi producono variazioni nella riluttanza del circuito magnetico cosicchè il campo non può essere regolato, su lunghi periodi, a più di  $10^{-3}$ .

Al CERN la regolazione è effettuata ricorrendo alla risonanza nucleare.

È difficile praticamente trovare un posto opportuno per introdurre la sonda di risonanza perchè le zone dove il campo è molto omogeneo sono generalmente completamente occupate. È stata impiegata con successo a tale scopo una sonda a effetto Hall, alimentata in corrente continua e stabilizzata per la temperatura; la sua tensione di uscita viene confrontata con una tensione di riferimento tarata in termini di intensità di campo magnetico: il segnale di errore aziona una servodina, attraverso un amplificatore. Lo schema è indicato in fig. 6.

Con questo dispositivo si ottiene una stabilità di campo magnetico di  $10^{-4}$ .

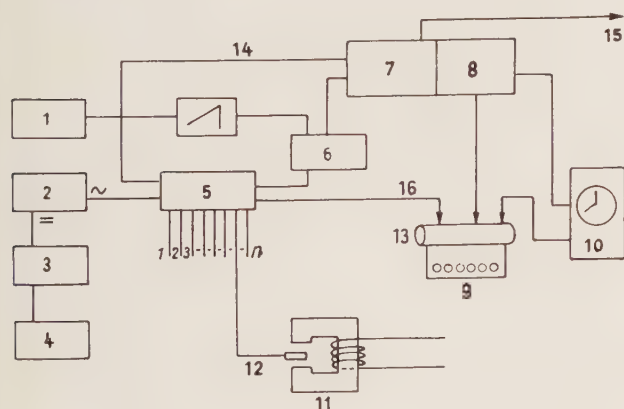


Fig. 7 — Registratore di campi magnetici

1, base dei tempi; 2, alimentazione; 3, magnetometro; 4, galvanometro; 5, commutatore elettronico; 6, comparatore; 7, contatore; 8, memoria; 9, macchina scrivente; 10, tempo; 11, magnete; 12, sonda a effetto Hall; 13, registrazione; 14, uscita; 15, registrazione permanente; 16, identificazione.

La maggiore difficoltà è stata quella di evitare fenomeni di auto-oscillazione dovuti alla isteresi dei vari circuiti magnetici, della servodina, del generatore e del magnete.

Considerato il grande numero di magneti in servizio intorno al sincrotrone Saturno e il fatto che essi si trovano

in una zona irradiata, si è presentata l'opportunità di adottare un dispositivo di telemisura del campo di tutti i magneti. Si è disposto un esemplare a effetto Hall in ciascun magnete e le indicazioni vengono registrate automaticamente; il dispositivo è indicato in fig. 7.

Il campo magnetico viene misurato una volta ogni secondo in ciascun magnete e il risultato viene registrato in numerazione binaria. L'esemplare a effetto Hall è alimen-

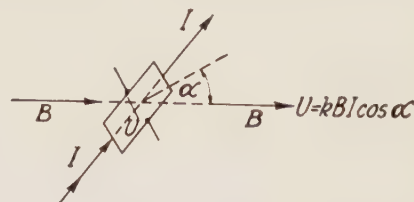


Fig. 8 — Generatori di funzioni seno e coseno

tato in corrente alternata e un calcolatore analogico-digitale, preceduto da un commutatore, esplora successivamente tutti gli esemplari e accumula i risultati in una memoria. Con velocità più ridotta un dispositivo scrivente esplora la memoria e nota il tempo, il valore del campo, la intensità della corrente e la sua direzione, e il numero d'ordine del magnete.

Si ha così sempre la possibilità di riferire ogni anomalia sperimentale alle condizioni di campo esistenti in quell'istante, ciò che facilita studi e ricerche.

Un magnetometro funzionante a corrente continua permette di verificare e tarare i singoli esemplari a effetto Hall.

#### MISURE ANGOLARI - INCLINOMETRO.

Il segno della tensione di Hall indica la direzione del campo magnetico. Inoltre soltanto la componente perpendicolare alla lamina genera una tensione di Hall.

Si possono ottenere valori di seno e di coseno con una semplice rotazione della lamina (fig. 8).

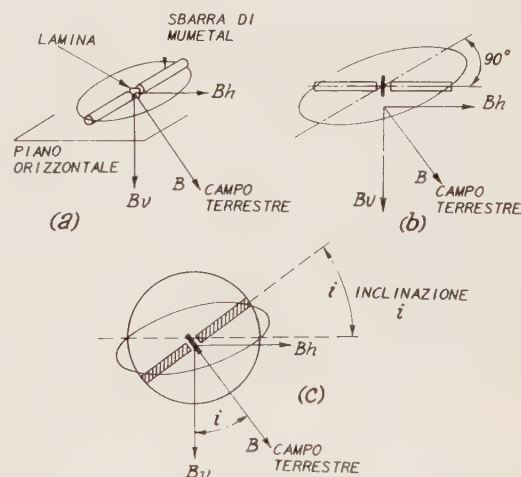


Fig. 9 — Inclinometro a effetto Hall

Su queste basi è stato costruito un inclinometro destinato a prospezioni sotterranee, che si basa su misure di inclinazione del campo magnetico terrestre.

Il cristallo a effetto Hall è posto fra due sbarre di mu-metal che concentrano le linee magnetiche del campo terrestre sul cristallo; il tutto è posto entro un dispositivo a cerchi graduati, con nonio, che permettono la misura di spostamenti angolari. Le misure vengono compiute in 3 stadi.

Si dispone l'asse del concentratore di campo in posi-



zione orizzontale e lo si orienta in tale piano in modo da annullare l'effetto Hall: in tale posizione la lamina si trova nel piano verticale contenente il campo terrestre (fig. 9 a).

Il complesso viene fatto ruotare orizzontalmente di  $90^\circ$  per portare l'asse delle sbarre e la lamina nel piano magnetico meridiano (fig. 9 b). La sbarra è poi orientata nel piano verticale  $B_v B_h$  per annullare l'effetto Hall; l'angolo  $i$  di rotazione (fig. 9 c) è eguale alla inclinazione.

La misura viene ripetuta a  $180^\circ$ . La media delle due misure è il valore cercato.



Fig. 10 — Caratteristiche dell'inclinometro

La doppia misurazione elimina la maggior parte degli errori strumentali. La determinazione dello zero è molto precisa usando il galvanometro perchè coincide col passaggio per lo zero con cambiamento di segno.

In prossimità dello zero la variazione di tensione per unità di angolo è massima e il concentratore di campo aumenta questo effetto (fig. 10), cosicchè si ottiene una precisione di  $3'$ .

Un apparecchio di questo tipo è stato adoperato durante una campagna di prospezione per ricerche di mine-

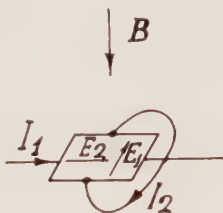


Fig. 11 — Magnetoresistenza

rali di uranio e confrontato con metodi classici di misura di campo magnetico basati su risonanza nucleare. L'inclinometro a effetto Hall ha il vantaggio di essere insensibile alle variazioni diurne dell'intensità del campo magnetico terrestre mentre le misure basate sulla intensità del campo esigono una correzione in base a dati raccolti, da altro osservatore, in un dato punto per tutto il tempo

dei rilievi. Inoltre l'inclinometro a effetto Hall funziona con una batteria e richiede soltanto un galvanometro trasportabile mentre i dispositivi a risonanza nucleare richiedono un complesso di apparecchiature molto più complesse e ingombranti.

#### ALTRE APPLICAZIONI POSSIBILI.

Si possono citare altre applicazioni dell'effetto Hall che sono state realizzate.

Una categoria di esse si basa su un campo magnetico costante e comprende un giratore, un circolatore e un amplificatore a resistenza negativa.

In altre applicazioni si utilizza un segnale prodotto dal campo magnetico; esse comprendono: un interruttore, un trasduttore, una bussola magnetica, un analizzatore di spettro di frequenze, un fasometro, un decodificatore digitale-analogico.

#### MAGNETORESISTENZA.

Se la tensione di Hall viene cortocircuitata da un conduttore che colleghi i 2 elettrodi di Hall, circola una corrente  $I_2$  perpendicolarmente alla corrente  $I_1$  di comando. L'effetto Hall si manifesta anche rispetto a questa corrente (fig. 11) e appare un campo elettrico perpendicolare insieme a  $I_2$  e a  $B_1$  e quindi parallelo a  $I_1$ . Questo campo si oppone al passaggio della corrente  $I_1$  e dà luogo a un apparente aumento della resistenza del cristallo: è il noto fenomeno detto effetto Corbino.

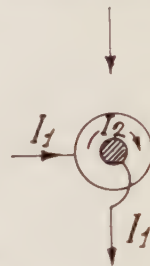


Fig. 12 — Disco di Corbino

Il dispositivo di Corbino (fig. 12) è costituito da un disco che comprende un elettrodo centrale e un altro elettrodo di forma anulare. La resistenza varia coll'intensità del campo applicato secondo un fattore 10 per una induzione di 10 000 gauss.

Si sono prospettate numerose applicazioni la cui realizzazione è stata impedita finora soltanto dalla mancanza di materiali magneto-resistivi di impedenza abbastanza alta. Fra tali possibili applicazioni vi sono: potenziometri senza contatti mobili, modulatori, raddrizzatori, trasduttori, regolatori, amplificatori galvano-magnetici a basso livello di rumore.

N.

# NOTIZIE SOCIALI

## ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA



### PREMI AEI IN PALIO PER IL 1962

Nel prossimo anno devono essere assegnati i seguenti premi che si riferiscono al triennio 1959-61.

**Premio Bianchi** riservato agli Autori, di età non superiore a 35 anni, di scritti apparsi nelle pubblicazioni dell'AEI: L'Elettrotecnica, Alta Frequenza, Rendiconti.

Il premio consiste in un diploma e una medaglia d'oro.

**Premio Lori** riservato al miglior lavoro di elettrotecnica apparso nel triennio sulle pubblicazioni dell'AEI.

Il premio consiste in un diploma, una medaglia d'oro e un assegno di L. 100.000.

**Premio Vallauri** riservato a lavori di autori, di età non superiore a 35 anni, pubblicati nel triennio dall'AEI con preferenza a temi nel campo delle costruzioni elettromeccaniche.

Il premio consiste in un diploma, una medaglia d'oro e un assegno di L. 150.000.

Ricordiamo che a norma del Regolamento Generale per i Premi amministrati dall'AEI, approvato nel 1954, la Giuria per l'assegnazione dei premi è tenuta soltanto a prendere in considerazione lavori che siano stati segnalati entro il triennio a cui il premio si riferisce.

\*

### MINUTA DI VERBALE DELLA SEDUTA DEL CONSIGLIO GENERALE

Torino 17 settembre 1961

La seduta è stata convocata per le ore 15,30 presso la sede della Sezione di Torino in Via Giolitti 1, col seguente

#### ORDINE DEL GIORNO

1. - Approvazione del verbale della seduta precedente (Milano, 10 maggio 1961) pubblicato come minuta su « L'Elettrotecnica » del luglio 1961 a pag. 542.
2. - Comunicazioni della Presidenza.
3. - Andamento dell'Associazione.
4. - Pubblicazioni.
5. - Riunioni Annuali.
6. - Premi e borse di studio.
7. - Cicli misure.
8. - Rinnovo delle cariche sociali - Designazione dei candidati da proporre al referendum dei Soci per le cariche di Presidente Generale e di due Vice Presidenti Generali per il triennio 1962-64.
9. - Comitato Elettrotecnico Italiano.
10. - Rendiconto economico.
11. - Eventuali e varie.

Presiede il Presidente Generale Angelini con i Vice Presidenti Foddis e Tedeschi.

Segretario: il Segretario Generale Rigatti.

Sono presenti gli ex Presidenti Generali Bauchiero, Cen-zato e Sameda, il Tesoriere Regoliosi, il Segretario del Presidente Generale Marini, i Condirettori dell'Ufficio Centrale Redaelli e San Nicolò, il rappresentante dei Soci all'estero Bianchi di Castelbianco, il prof. Barozzi, invitato, ed i Consiglieri Delegati delle Sezioni:

Adriatica: Giunchi (Presidente).

Bologna: Del Terra, Modoni, Righi A., Storchi.

Catania: Greco.

Firenze: Montigiani (Presidente), Foà.

Genova: Dellepiane (Presidente), Olliveri Petiva.

Livorno: Guiraud.

Milano: Dadda, Castellani, Costadoni, Fabrizi, Facconi, Frediani, Lucini, Marsili, Martinetti, Niccolai, Palmieri, Parolo, Villa, Zanchi.

Napoli: Giordani (Presidente), Acocella, Albarella, Mayer, Roscia.

Palermo: Masticchi.

Pugliese: Barbato, Di Lecce.

Roma: Albertazzi (Presidente), Proia.

Sarda: Lixi Delogu (Presidente).

Torino: Merlini (Presidente), Bordiga, Bortolotti, Bianchi, Cardellino, Danieli, Giordana, Sartorio.

Trieste: Bonino.

Veneta: Gatto (Presidente), Alocco.

Sono rappresentati per delega: il Revisore dei conti Peterlongo, il Presidente della Sezione di Bologna Trevisan, il Presidente della Sezione di Catania Carciotto, il Presidente della Sezione di Livorno Tiberio, il Presidente della Sezione di Milano Maggi, il Presidente della Sezione di Palermo Tricomi, il Presidente della Sezione Pugliese Amara, il Presidente della Sezione di Trento Boschetti, il Presidente della Sezione di Trieste Fragiaco, ed i Consiglieri Delegati: Alessi, Buttiglione, Cavalli, Cavallotti, Crisafulli, Di Perna, Faloci, Gatti, Giacomuzzi, Lorenzi, Lucchini, Martini, Meda, Pagliari, Petrocchi, Ricciardi, Sala, Sbrissa, Sorato, Squintani, Toffolon, Trenti, Viarengo, Vigevani.

Sono presenti: prof. Asta, ing. Cappetti, ing. Vesnaver.

Alle ore 15,45 il Presidente dichiara aperta la seduta e, dopo un saluto ai presenti, passa allo svolgimento dell'ordine del giorno.

#### 1. - Approvazione del verbale della seduta precedente.

Il Presidente informa che una minuta del verbale della seduta tenuta a Milano il 10 maggio scorso è stata pubblicata nel fascicolo di luglio (n. 7) de « L'Elettrotecnica » e che su di essa non sono pervenute osservazioni.

Se neppure i presenti avranno osservazioni il verbale si intenderà approvato.

Nessuno chiede la parola ed il Presidente dichiara approvato il verbale.

#### 2. - Comunicazioni della Presidenza.

a) *Soci defunti*. Il Presidente inizia le sue comunicazioni col ricordo dei Colleghi scomparsi dopo l'ultimo Consiglio. I presenti seguono, in piedi, la rievocazione.

Sono mancati i Consoci:

Sezione di Bologna: La Rosa Epifanio.

Sezione di Firenze: Fallai Gino.

Sezione di Milano: Barni Italo, Grassilli Rosario, Martin Oger, Prandolini Gerolamo, Siniscalchi Angelo.

Sezione di Napoli: Ventrella Marcello.

Sezione di Trieste: Bearzi Pietro, Redivo Pio, Manni Carlo.

Il Presidente sottolinea con un particolare accenno i nomi dell'ing. Prandolini, amministratore delegato dell'Impresa Girola e dell'ing. Manni socio emerito, ed invita i presenti ad un minuto di raccoglimento in omaggio alla memoria dei Colleghi scomparsi.

Riprende, quindi, le sue comunicazioni.

b) *Soci emeriti e benemeriti*. Il Presidente informa che al 1° gennaio 1962 compiranno i 50 anni di appartenenza all'AEI ed avranno, pertanto, diritto alla qualifica di « emeriti » i seguenti Colleghi:



Sezione di Milano: Ferradini ing. Mario, Jarach dr. ing. Aldo, Santuari ing. Emilio, Varini dr. ing. comm. Alberto.

Sezione di Roma: De Stefani dr. ing. Giuseppe, Feroldi De Rosa dr. ing. Cesare, Marino prof. ing. Algeri, Virgili dr. ing. comm. Enea.

Sezione di Torino: Andreoni dr. ing. Carlo, Bianco dr. ing. Francesco.

Inoltre per aver raggiunto l'anzianità quadriennale di Socio sostenitore sono da proporre a « benemeriti » i Consoci:

Sezione di Torino: Consorzio Elettrico Buthier.

Sezione di Roma: prof. Asta Antonino.

Il Consiglio accoglie con vivo applauso le designazioni. Esse saranno sottoposte all'approvazione dell'Assemblea.

c) *Biblioteca centrale.* Il Presidente richiama lo scambio di idee intervenuto in proposito nel precedente Consiglio per valorizzare la biblioteca centrale la quale pur avendo raggiunto un'ottima sistemazione per merito del Presidente della Sezione di Roma ing. Albertazzi e della Direzione delle Ferrovie dello Stato, risulta assai scarsamente frequentata.

Accenna alla proposta del prof. Barozzi di trasferire la biblioteca alla Università di Trieste la quale ne curerebbe la gestione anche a favore dei Soci dell'AEI. Dopo breve discussione, i presenti non ritengono di poter prendere una decisione immediata e la questione viene rinviata al prossimo Consiglio.

d) *Commemorazione del prof. Barbagelata.* Su invito del Presidente il prof. Smeda esprime il suo vivo rincrescimento per non aver potuto tenere la commemorazione nell'anniversario della morte (23 maggio 1960) e si ripromette di farlo a Milano entro il mese di ottobre.

Il Presidente ricorda che l'AEI ha perso un altro illustre Consocio: l'ex Presidente Generale Giordani e chiede al Collega Cenzato se sarebbe disposto ad assumerne la commemorazione.

Cenzato osserva che una commemorazione si terrà certamente a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche del quale il Collega era Presidente, e propone di soprassedere, per il momento, ad una decisione in attesa di conoscere quanto si farà nell'altra sede.

Il Consiglio consente.

### 3. - Andamento dell'Associazione.

a) *Situazione Soci.* Il Presidente comunica che nell'anno decorso dal Consiglio di Ancona (settembre 1960) il numero dei Soci ha avuto un incremento di 291 unità. Oggi l'AEI conta 8 500 Soci. Segnala l'opportunità della propaganda fra gli studenti che costituiscono le giovani leve dell'AEI. Informa che presso l'Università di Roma è stata fatta una attiva propaganda a favore dell'AEI, fra gli studenti, alla fine dell'anno scolastico e si è constatato che ben pochi avevano conoscenza della nostra Associazione. Si sono raccolte parecchie adesioni.

Ritiene opportuno continuare la diffusione degli appositi manifesti predisposti allo scopo.

Su invito del Presidente, Bianchi di Castelbianco, rappresentante dei Soci all'estero, dà notizia dei suoi incontri con i Soci residenti fuori dai confini nazionali i quali hanno sempre avuto espressioni molto lusinghiere per l'AEI.

Angelini fa notare che la pubblicazione di alcuni fascicoli delle due riviste in lingua inglese ha anche lo scopo di favorire la conoscenza e la diffusione dell'AEI all'estero.

b) *Attività delle Sezioni.* Il Presidente osserva che l'attività delle Sezioni riassunta nel semplice numero delle manifestazioni non può rispecchiare ciò che effettivamente è stato fatto, perchè le manifestazioni hanno caratteristiche ed importanza diverse l'una dall'altra.

Raccomanda alle Sezioni diligenza nell'inviare all'Ufficio Centrale copia degli inviti alle varie manifestazioni e soprattutto nel trasmettere una breve relazione o meglio i testi delle memorie presentate nelle riunioni sezionali.

### 4. - Pubblicazioni.

Il Presidente dà notizia dell'andamento delle pubblicazioni ed, in particolare, della diffusione di « Alta Frequenza » dopo la riforma realizzata quest'anno. Siamo arrivati ad una distribuzione di 2 800 copie; i risultati sono soddisfacenti, ma rimane ancora parecchio cammino da percorrere.

È perciò vivo il desiderio di poter disporre di articoli informativi e divulgativi per l'acquisizione dei quali è necessaria un'opera di ricerca e di persuasione presso Enti come i Laboratori del Sincrotrone del CNEN, le Aziende telefoniche ed altri che potrebbero fornire ottimi collaboratori.

Dadda segnala e deplora la poca conoscenza dell'AEI fra gli elettronici e deplora la costituzione in questo campo di nuove associazioni che costituiscono una dispersione di forze.

Foddis osserva che non si tratta di nuove associazioni, ma di gruppi che sono emanazioni di grandi Enti culturali esteri già formati e fiorenti. L'AEI dovrebbe costituire il centro di raccolta e di coordinamento di questi gruppi.

Dadda ne conviene purchè gli aderenti ai vari gruppi si facciano anche Soci dell'AEI.

Angelini auspica il concentramento dell'attività di stampa in poche riviste ed accenna ai rapporti intervenuti in proposito fra AEI e IRE.

Smeda osserva che il progresso nella diffusione di « Alta Frequenza » in questi primi 8 mesi della riforma è veramente notevole per cui l'iniziativa, tuttora in corso, si dimostra vitale.

Propone un plauso alla Presidenza Generale ed ai direttori delle due riviste.

Il Consiglio si associa con vivi applausi.

Su invito del Presidente, Lombardi informa che la Commissione per i contributi alle riviste di alto valore culturale ha assegnato quest'anno ad « Alta Frequenza » un contributo che ammonta a circa il triplo dei precedenti e si compiace di interpretare l'aumento come buon auspicio per lo sviluppo futuro della rivista.

Su richiesta del Presidente, Cenzato si dichiara d'accordo per una eventuale destinazione della sua generosa elargizione per scopi culturali a parziale copertura degli oneri finanziari nella fase di rinnovamento delle riviste.

Smeda interviene precisando che approverebbe senz'altro la destinazione a favore degli autori degli articoli più desiderati, ma non sarebbe d'accordo se dovesse coprire invece spese tipografiche o materiali.

Il Consiglio si associa a questa precisazione.

Angelini dà notizia della pubblicazione in corso, a cura dell'AEI, dei lavori inediti del prof. Pestarini che compariranno nella lingua originale inglese e, come monografia, anche in italiano.

Per coprire questa spesa il Presidente si ripromette di chiedere il concorso di Enti culturali e industriali interessati all'argomento.

### 5. - Riunioni Annuali.

Il Presidente constata il brillante successo della Riunione in corso che si riassume nel numero delle memorie presentate (116) e dei partecipanti (836). Rinnova un vivo ringraziamento alla Sezione di Torino, al suo Presidente nonché agli enti locali ed alle industrie che hanno collaborato premurosamente e con larghezza di mezzi alla migliore riuscita della manifestazione.

Per la Riunione dell'anno venturo, il prof. Giordani, Presidente della Sezione di Napoli, presenta l'invito della sua Sezione e propone come sede l'isola di Ischia (vivi, calorosi applausi).

La data dovrebbe essere stabilita dopo il 25 settembre per consentire la necessaria disponibilità di alloggi negli alberghi.

Angelini ringrazia vivamente dell'invito e fa notare che gli applausi dei presenti hanno dimostrato quanto sia riuscito gradito. Il tema, come noto, è « Misure ».

Il Consiglio è chiamato a stabilire anche il tema per la Riunione del 1963.

Il Presidente ricorda la proposta dell'ing. Castellani: « Semiconduttori e loro applicazioni ».

Sulla proposta si sviluppa un'ampia discussione fra i presenti ed infine, su proposta Smeda, si conclude di mantenere il tema dei semiconduttori articolandolo in diverse sezioni relative alle caratteristiche generali ed alle applicazioni alle correnti forti ed alle telecomunicazioni.

La Presidenza provvederà al definitivo inquadramento del tema e ne darà notizia sulle due riviste.

### 6. - Premi e borse di studio.

a) *Premi AEI.* Il Presidente informa che la Commissione per l'aggiudicazione dei Premi Lorenzo Ferraris e Pugno Vanoni, in palio quest'anno, non ha potuto concludere il suo lavoro e si riserva di comunicare le sue proposte.



Nell'anno prossimo (1962) saranno in palio i Premi Bianchi, Lori e Vallauri riservati ai lavori di giovani ingegneri (età non superiore ai 35 anni) pubblicati nel triennio 1959-61. I premi consistono in un diploma ed una medaglia d'oro; al premio Lori è aggiunto un assegno di L. 100.000 ed al premio Vallauri un assegno di L. 150.000.

Il Presidente raccomanda la segnalazione dei lavori ritenuti meritevoli per agevolare il lavoro di scelta della Commissione che sarà nominata dal prossimo Consiglio.

b) *Nuovo premio a favore degli studenti degli Istituti industriali e Scuole professionali* (Premio I.T.I.). Il Presidente chiede il parere dei presenti sullo schema di regolamento che è stato distribuito durante la seduta.

Dopo uno scambio di idee sulla opportunità di mettere in evidenza che denominazione « elettrotecnica » comprende anche le specializzazioni elettronica e radiotelevisiva e di inquadrare più strettamente il tema per evitare un numero eccessivo di concorrenti, il Consiglio dà mandato alla Presidenza per la compilazione del testo definitivo del regolamento che verrà sottoposto al prossimo Consiglio.

c) *Borsa Volta*. Chiede la parola Bianchi di Castelbianco per informare che il Consiglio del « Volta Memorial Fund » gli ha comunicato che stanno per esaurirsi i fondi a disposizione e l'ha pregato di interessarsi per procurare il concorso finanziario degli Enti industriali italiani.

La SAE (Società Anonima Elettrificazione), che egli dirige, ha stabilito un contributo di 5000 dollari ed egli ha già diffuso l'appello ad altri Enti industriali. Sarebbe opportuno un cenno in proposito sulle riviste dell'AEI.

Angelini chiede il parere dei presenti. Tutti si dichiarano favorevoli al mantenimento della Borsa Volta ed alla propaganda per il suo finanziamento.

d) Per meglio diffondere la conoscenza dell'AEI fra gli elettronici, Costadoni propone di variare la denominazione dell'Associazione in « Associazione Elettrotecnica ed Elettrotecnica Italiana » ciò che metterebbe in evidenza che gli scopi della Associazione si estendono anche al settore elettronico ed incoraggierebbe l'adesione dei tecnici di questo settore che risultano, finora, piuttosto assenti. Segue una breve discussione alla quale partecipano: Angelini, Facconi, Dadda, Redaelli ed altri. Gli interventi sono favorevoli al mantenimento dell'attuale denominazione AEI, integrata, eventualmente, con un sottotitolo. Dadda suggerisce la costituzione di due categorie di Soci: elettrotecnici ed elettronici.

Redaelli fa notare che si incontrerebbero in pratica gravi difficoltà nell'attuare la suddivisione.

Il Presidente nota che la proposta va esaminata più a fondo e propone di rinviare ogni decisione.

Il Consiglio consente.

e) *Borse di studio*. Il Presidente informa che la Borsa ing. Sante Belotti verrà, con tutta probabilità, confermata allo studente del Politecnico di Milano Alessandro Bellman che ha già dimostrato di possedere i titoli necessari.

È messa, invece, nuovamente in palio la Borsa « Avv. Francesco Cameli » di L. 500.000 riservata ad un giovane ingegnere con anzianità di laurea non superiore a 3 anni, che intenda seguire un corso di perfezionamento nel campo della elettronica o delle radiocomunicazioni presso un Istituto superiore italiano.

Le domande vanno presentate all'AEI entro il 30 settembre.

Barozzi fa notare che la data del 30 settembre non è molto opportuna in quanto le lauree si prolungano di solito fino a novembre; propone lo spostamento della data al 30 dicembre.

Il Presidente prende atto della proposta e si riserva di sentire anche la Compagnia Telemar che ha istituito la Borsa.

#### 7. - Cicli Misure.

Il Presidente informa che la relazione sul ciclo « Contatori ad alta sovraccaricabilità » è stata pubblicata sul fascicolo di luglio de « L'Elettrotecnica » e ringrazia il collega Pagliari che se ne era assunto il compito.

La relazione sul ciclo « Prove a impulso » affidata al collega Regoliosi, non è ancora ultimata ma il relatore ha dato affidamento di consegnarla entro il prossimo mese di ottobre.

Per il nuovo ciclo l'Istituto di Elettrotecnica dell'Univer-

sità di Genova ha proposto il tema: « Trasformatore di corrente ». Non si sono avute altre proposte.

Il Presidente si riserva di definire il tema con i Collegi della Presidenza.

#### 8. - Rinnovo delle cariche sociali.

Il Presidente propone di rinviare questo punto al termine dell'ordine del giorno per consentire uno scambio di idee fra i presenti prima della votazione. Il Consiglio consente.

#### 9. - Comitato Elettrotecnico Italiano.

Su invito del Presidente, Sameda, Presidente del CEI dà notizie sulla composizione e sulla attività dell'Ente.

Il CEI attualmente comprende 49 Sottocomitati che si articolano in 132 Commissioni e 865 Membri. Vi sono poi Commissioni speciali per i rapporti con altre organizzazioni straniere come la CIGRE, la UIE, la CEE.

Secondo quanto è stato fatto in sede internazionale si è proceduto al riordino dei Sottocomitati che si occupano di radiotecnica e di elettronica e cioè dei Sottocomitati 12 - 29 - 39 - 40. Ciò ha portato alla costituzione dei seguenti nuovi Sottocomitati:

— n. 40 « Condensatori e resistenze per equipaggiamenti di telecomunicazioni »;

— n. 46 « Cavi, fili e guide d'onda per equipaggiamenti di telecomunicazioni »;

— n. 47 « Dispositivi a semiconduttori per equipaggiamenti di telecomunicazioni »;

— n. 48 « Pezzi staccati elettromeccanici per equipaggiamenti di telecomunicazioni »;

— n. 49 « Cristalli e dispositivi analoghi per equipaggiamenti di telecomunicazioni »;

— n. 50 « Metodi di prove climatiche e meccaniche per pezzi staccati »;

— n. 52 « Circuiti stampati per equipaggiamenti di telecomunicazioni ».

Tale riordino corrisponde a quanto è avvenuto in campo internazionale in seguito alle deliberazioni del Comitato d'Azione della IEC a Nuova Dehli.

Inoltre è stato costituito un Sottocomitato 43 « Ventilatori » e il Sottocomitato 110 CISPR (Comité International Spécial pour les perturbations radioélectriques).

L'attività è stata molto intensa. Nell'anno decorso dal Consiglio di Ancona sono state tenute più di 160 riunioni di Sottocomitati e di Commissioni.

Sono state anche tenute 32 riunioni internazionali, delle quali 6 in Italia. Particolarmente importanti furono le riunioni generali di Nuova Dehli e di Interlaken.

Sono stati pubblicati 14 fascicoli di Norme nuove, e n. 15 fascicoli di progetti per la inchiesta pubblica.

Il CEI ha preso attiva parte ai lavori per la unificazione delle Norme dei paesi del MEC, e ha organizzato la partecipazione italiana ai lavori della prossima sessione della CIGRE.

Anche l'UNEL e l'Istituto del Marchio di Qualità hanno svolto una intensa attività.

Per il 1963 è prevista in Italia la riunione generale IEC.

Allo scopo di assicurare al CEI i mezzi finanziari necessari per svolgere efficacemente la sua attività in continuo sviluppo, il Consiglio ha deliberato di aumentare la quota sociale da L. 100.000 a L. 200.000 ed ha chiesto ai 4 Soci fondatori di portare il contributo annuo da 4,5 a 6 milioni.

Inoltre, per costituire un fondo straordinario per il finanziamento della riunione generale della IEC in Italia nel 1963 il Consiglio ha rivolto ai 4 Soci fondatori domanda di un contributo straordinario di 2 milioni annui durante il triennio 1961-63.

L'aumento della quota sociale è stata accolta favorevolmente dalla quasi totalità dei Soci e si ha fiducia nella accettazione del contributo straordinario da parte dei Soci fondatori.

Esso ha già avuto l'adesione dell'ANIDEL e della Presidenza dell'AEI.

Sameda chiede la ratifica al Consiglio. I presenti esprimono con un vivo applauso l'adesione dell'AEI alle richieste del CEI.

#### 10. - Rendiconto economico.

Il Presidente, premesso che i fogli contenenti il preventivo di assestamento 1961 ed il preventivo 1962 sono già



stati distribuiti ai presenti, invita Redaelli a illustrarne le voci principali.

Redaelli riferisce sull'andamento della gestione e dà ragione del notevole disavanzo risultante nei due preventivi (L. 8 625 000 nel primo e L. 3 000 000 nel secondo); risponde esaurientemente ad una interpellanza sullo stato patrimoniale dell'AEI.

Dopo di che non essendoci altri interventi il Presidente mette in votazione il rendiconto. Esso viene approvato all'unanimità con un applauso all'indirizzo di Redaelli.

A questo punto il Presidente sospende la seduta per consentire uno scambio di idee fra i presenti sul rinnovo delle cariche sociali.

Nel contempo i Dirigenti dell'Ufficio Centrale provvedono alla distribuzione delle schede di votazione ed al controllo delle deleghe per la votazione stessa.

Riaperta la seduta, dopo 10 minuti, il Presidente indice la votazione e chiama a scrutatori i Colleghi Giordana, Rigatti e San Nicolò.

Lo spoglio delle schede dà i seguenti risultati:

— votanti 74;

— candidato alla carica di Presidente Generale: ing. Franco Tedeschi - voti 72;

— alla carica di Vice Presidenti Generali: ing. Luigi Niccolai - voti 73; ing. Domenico Tolomeo - voti 71.

Il Presidente comunica i risultati esprimendo ai candidati prescelti il suo vivo compiacimento per l'unanimità dei consensi.

Il Consiglio si associa con un vivo prolungato applauso.

Riprendendo la parola il Presidente ricorda che questo è l'ultimo Consiglio del suo triennio presidenziale e rivolge un caldo ringraziamento ai suoi predecessori, in particolare al prof. Smeda, ai Colleghi della Presidenza, ai collaboratori dell'Ufficio Centrale ed a tutti coloro che l'hanno seguito e sostenuto nello svolgimento delle sue mansioni. Rivolge un particolare mesto pensiero ai Colleghi Barbagelata e Dalla Verde che hanno lasciato due grandi e dolorosi vuoti nella famiglia dell'AEI.

Cenzato prende la parola quale decano dei Presidenti Generali ed uno dei Soci più anziani per ringraziare, a nome di tutti i Soci, il Presidente Angelini dell'opera attiva e faticosa svolta durante il suo triennio presidenziale durante il quale alla direzione dell'AEI venne a mancare la preziosa collaborazione del prof. Barbagelata e dell'ing. Dalla Verde.

Ricorda le iniziative prese da Angelini nella organizzazione delle due riviste dell'AEI ed, in particolare, a favore di « Alta Frequenza » per darle maggiore sviluppo con assetto analogo a « L'Elettrotecnica » allo scopo di favorirne la diffusione nel vasto ambiente dei cultori della elettronica e delle telecomunicazioni. Chiude bene augurando alle fortune dell'AEI.

I presenti si associano con un vivo applauso.

Dopo di che il Presidente ringrazia e saluta i presenti dichiarando quindi chiusa la seduta alle ore 18,30.

## NOTIZIE DELLE SEZIONI

### SEZIONE SARDA

Il giorno 27 ottobre 1961 il dr. ing. **Corradino Corrado**, direttore dei lavori della Società Idroelettrica del Taloro, ha tenuto, in una sala gentilmente concessa nella nuova sede della Società Elettrica Sarda, una conferenza sul tema: « **Il Nilo Sudanese: idrologia e possibilità di utilizzazione** ».

Il conferenziere ha riassunto i risultati e gli elementi raccolti durante una campagna di studi da lui eseguita nel 1958 assieme ad altri tecnici italiani lungo il Nilo, su invito del Governo Sudanese e sotto l'egida dei Ministeri degli Esteri e del Commercio Estero, in accordo con la Confindustria.

Egli ha passato in rapida rassegna le caratteristiche fisiche, idrauliche ed idrologiche del Nilo in generale, ed esaminato in particolare le possibilità di regolazione ed utilizzazione delle acque del tronco sudanese del grande fiume.

Il Nilo col suo bacino di raccolta che si estende su una superficie di tre milioni di km<sup>2</sup>, pari a nove volte quella dell'Italia, e col suo sviluppo di 6 700 km è il più grande fiume africano e il più lungo del mondo. Esso è costituito dai due bracci del Nilo Bianco e del Nilo Azzurro, costante e mae-

stoso il primo, capriccioso e violento il secondo, che confluiscano a Khartum nell'unica asta del grande Nilo. Prima di raggiungere il Mediterraneo metà delle acque del fiume si disperde attualmente nelle paludi, fra le sabbie, o è prosciugata dall'ardente sole del deserto. Però gli rimane tanto da scaricare in mare fino a 15 000 m<sup>3</sup>/sec. Inoltre mentre l'acqua alluvionale è troppa per venire utilizzata, avviene che all'infuori dei brevi periodi di piena Sudan ed Egitto non ricevono acqua sufficiente per le proprie necessità. Pertanto allo scopo di utilizzare al massimo la naturale funzione del Nilo di vena alimentatrice della vita del Sudan e dell'Egitto occorre creare serbatoi e poi canalizzazioni; ciò che implica la conclusione di accordi per la ripartizione delle acque del Nilo fra i paesi rivieraschi che sono l'Etiopia, l'Uganda, il Sudan e l'Egitto. I contrasti che sussistevano nel momento della esplorazione eseguita dagli italiani nel 1958 sono stati almeno parzialmente appianati.

Già sul Nilo Bianco esiste lo sbarramento di Owen Falls che raccoglie nel lago Vittoria ben 65 miliardi di m<sup>3</sup> di acqua utili. Ed oggi, oltre la grande Assuan che creerà in Egitto uno dei serbatoi più estesi del mondo con un invaso di 130 miliardi di m<sup>3</sup> d'acqua, si sta lavorando per l'impianto dei cantieri, nel cuore del deserto sudanese, di due grandi dighe: Roseires e Kasm-el-Girba. È motivo di orgoglio per noi che questi due ultimi importanti lavori siano stati affidati a costruttori italiani i quali sono riusciti vincitori in una combattutissima gara internazionale fra le più note imprese del mondo.

L'oratore, che per la diretta esperienza fattane in seno alla ricordata Missione italiana di studio ha svolto il tema della conferenza rappresentandolo in un quadro di particolare chiarezza e passione, ha vivamente interessato il numeroso uditorio il quale lo ha calorosamente applaudito.

\*

### SEZIONE VENETA

Il 24 ottobre 1961 ha avuto inizio in Udine l'attività associativa della Sottosezione della Associazione Elettrotecnica Italiana con la conferenza tenuta dal dr. ing. **Renzo Rova** del Laboratorio Ricerche « Misure e Collaudo » della SADE, sul tema: « **Criteri generali per il dimensionamento degli impianti di terra** ». La conferenza si è tenuta nell'aula magna dell'Istituto Tecnico Industriale « A. Malignani » di Udine, con una larga partecipazione di soci e di studenti degli ultimi corsi di elettrotecnica e di elettronica dell'Istituto stesso.

Ha aperto la seduta l'ing. Luciano Giacomuzzi, Presidente dell'Istituto Tecnico Industriale « A. Malignani » e Direttore della Società Friulana di Elettricità, che ha dato il benvenuto agli intervenuti ed ha presentato il Presidente della Sezione Veneta, dr. ing. Giorgio Gatto, e il conferenziere, dr. ing. Renzo Rova.

Dopo un breve intervento del Presidente ing. Gatto, che ha rivolto un cordiale saluto agli intervenuti ed ha illustrato brevemente gli scopi e le finalità dell'AEI auspicando un incremento del numero dei soci, ha preso la parola l'ing. Renzo Rova.

Il conferenziere dopo un breve cenno alle attuali Norme che riguardano gli impianti di terra ed a quelle in via di progettazione, ha esaminato dettagliatamente i vari tipi di impianti di terra ed illustrato i metodi più idonei per una corretta progettazione degli stessi in base alla pericolosità dell'impianto.

Si è quindi soffermato ad illustrare i metodi seguiti per la determinazione sperimentale della distribuzione del campo elettrico coi diversi tipi di dispersori usati nella pratica.

Ha esaminato le diversità e le analogie esistenti tra gli impianti di terra per reti ad alta tensione e reti a bassa tensione e tutti i fattori che si devono prendere in considerazione per una valutazione corretta del problema e quindi per una progettazione razionale ed economica degli impianti di terra.

La conferenza è stata illustrata con proiezioni e seguita con vivo interesse dagli intervenuti, che alla fine hanno calorosamente applaudito l'oratore.

L'ing. Giacomuzzi, quale Direttore della S.F.E., ha voluto offrire all'oratore, al Presidente ed ai più diretti collaboratori, un pranzo al Palace Hôtel.

# COMITATO ELETTROTECNICO ITALIANO

## C. E. I.

### Riunioni dei Sottocomitati e delle Commissioni del CEI avvenute nel mese di Ottobre 1961

*presso la sede del CEI o in altra sede specificata*

3 ottobre, ore 9,30 (presso Ufficio prof. Bottani, Via Saffi n. 15, Milano) - *Sottocomitato 17 «Grossa apparecchiatura» - Comm. 1 «Interruttori a c.a. A.T.»*; presiede prof. E. Bottani.

— Esame e preparazione osservazioni ai doc. IEC:

17A(B.C.)35: Apertura linee a vuoto

17A(B.C.)38: Apertura cavi a vuoto

17A(B.C.)39: Apertura banchi di condensatori

17(Secr.)26: Sovratensioni di manovra

17(Secr.)27: Norme sezionatori sottocarico

17(Secr.)904: Definizioni.

3 ottobre, ore 14,30 (presso Servizio Materiale e Trazione F.S., Viale S. Lavagnini 58, Firenze) - *Commissione Mista CEI-UNIFER per lo studio della terminologia di trazione elettrica*; presiede dr. ing. G. Del Guerra.

1) Discussione proposte formulate per la suddivisione della Raccolta terminologica in istudio e per la numerazione dei capitoli, sottocapitoli e singoli termini.

2) Continuazione esame e discussione dei termini da includere nella Raccolta delle relative definizioni sulla base delle proposte presentate dal prof. ing. Martarelli (Cap. «Grandezze fisiche interessanti la trazione elettrica»), e dal dr. ing. Cricenti (Cap. «Organi di prova della corrente »).

3 ottobre, ore 15 - *Sottocomitato 40 «Condensatori e resistori per apparecchiature elettroniche» - Riunione plenaria*; presiede dr. ing. M. Mariani.

1) Esame bozza definitiva Progetto Norme per condensatori ceramici. (Relatore dr. ing. M. Mariani).

2) Esame Rapporto doc. IEC 40(Sec)103 e 103A, sulla riunione del Gruppo di lavoro per condensatori elettrolitici tenutasi a Parigi il 15 e 16 marzo 1961 e delle decisioni relative di Interlaken. (Relatore dr. ing. H. W. Stawski).

4 ottobre, ore 10 (presso Soc. Orobia, Via Beruto 18, Milano) - *Sottocomitato 11 «Impianti» - Comm. «Norme generali impianti» - Comm. Redazione*; presiede on. prof. N. Faletti.

— Prosecuzione esame discussione nuova edizione Norme generali impianti.

5 ottobre, ore 9,30 - *Sottocomitato 17 «Grossa apparecchiatura» - Comm. n. 2 «Interruttori B.T.»*; presiede prof. S. B. Toniolo.

— Revisione Norme CEI 17-5 (ediz. 1957) «Apparecchi d'interruzione destinati alla protezione e alla manovra su impianti industriali a tensione non superiore a 1000 V per corrente alternata e per corrente continua».

9 ottobre, ore 10 - *Sottocomitato 36 «Isolatori» - Comm. «Isolatori telefonici»*; presiede dr. ing. L. Gratta.

— Nuove norme isolatori telefonici.

9 ottobre, ore 14,30 - *Sottocomitato 36 «Isolatori» - Riunione plenaria*; presiede dr. ing. P. Facconi.

— Informazioni sui lavori svolti in sede internazionale dal TC 36 e dai vari Gruppi di studio.

— Documenti internazionali in inchiesta pubblica.

— Risultati dell'inchiesta pubblica del Progetto di Norme S. 192 «Prove degli isolatori di vetro per impianti a c.a. a frequenza industriale e per tensioni superiori a 1000 V».

10 ottobre (presso UNI, Piazza Diaz 2, Milano) - *Comm. Mista UNI-CEI-UNEL*; presiede prof. Stradelli.

— Composizione delegazione italiana per riunione ISO/TC 86/SC 5 «Refrigeratori domestici» da tenersi a Parigi (8-10 novembre 1961).

10 ottobre, ore 15 - *Sottocomitato 51 «Materiali ferromagnetici per apparecchiature elettroniche» - Riunione plenaria*; presiede dr. ing. H. W. Stawski.

1) Scelta del Segretario.

2) Comunicazioni del Presidente.

3) Relazione dell'ing. Mayr sulla riunione IEC a Interlaken (19-20 giugno 1961).

4) Programma di lavoro.

13 ottobre, ore 10 (presso SpA Magrini, Via Magrini 7, Bergamo) - *Sottocomitato 17 «Grossa apparecchiatura» - Comm. n. 2 «Interruttori B.T.»*; presiede prof. S. B. Toniolo.

— Revisione Norme 17-5 (ediz. 1957) «Apparecchi d'interruzione destinati alla protezione e alla manovra su impianti industriali a tensione non superiore a 1000 V per corrente alternata e per corrente continua».

14 ottobre, ore 8,30 - *Sottocomitato 9 «Trazione» - Gruppo di lavoro «Raddrizzatori per rotabili elettrici»*; presiede dr. ing. G. Giovanardi.

14 ottobre, ore 9,30 - *Sottocomitato 9 «Trazione» - Riunione plenaria*; presiede dr. ing. A. D'Arbela.

1) Comunicazioni del Presidente.

2) Relazione del Presidente in merito alle riunioni del Comitato di Studio IEC n. 9, «Materiale di trazione elettrica» e del Comitato Misto Internazionale del «Materiale di trazione elettrica», tenutasi a Interlaken (26-29 giugno 1961).

3) Comunicazione dell'esame del «Progetto di Norme per l'apparecchiatura elettrica a bordo di rotabili automotori elettrici alimentati da linee di contatto».

17 ottobre, ore 15 - *Sottocomitato 52 «Circuiti stampati» - Riunione plenaria*; presiede dr. ing. H. W. Stawski.

1) Comunicazioni del Presidente.

2) Scelta del Segretario.

3) Continuazione discussione dei doc. IEC 52(Secr.)1 e 2.

18 ottobre, ore 15 - *Sottocomitato 15 «Materiali isolanti» - Comm. ristretta per esame valori numerici del Progetto Norme S. 176 «Materiali stratificati in lastre a base di resine termoindurenti».*

20 ottobre, ore 15 - *Sottocomitato 17 «Grossa apparecchiatura» - Comm. n. 2 «Interruttori B.T.»*; presiede prof. S. B. Toniolo.

Revisione Norme 17-5 (ediz. 1957) «Apparecchi d'interruzione destinati alla protezione e alla manovra su impianti industriali a tensione non superiore a 1000 V per corrente alternata e per corrente continua».

25 ottobre, ore 15 - *Sottocomitato 11 «Impianti» - Comm. n. 15 «Impianti nei locali con pericolo d'esplosione o di incendio» - Comm. Redazionale*; presiede dr. ing. G. E. Niccoli.

— Capitolo 5: Esplosivi.

26 ottobre, ore 10 - *Sottocomitato 41 «Relè» - Riunione plenaria*; presiede prof. A. Parrini.

1) Comunicazioni della Presidenza.

2) Seguito delle comunicazioni sulla riunione di Oslo: CIGRE/C.E. 4 «Protection et relais» (11-14 giugno 1961).

3) Scelta degli argomenti per le discussioni CIGRE.

26 ottobre, ore 15 - *Sottocomitato 2 «Macchine rotanti» - Riunione plenaria*; presiede dr. ing. F. Tedeschi.

1) Risultati dell'inchiesta pubblica al Progetto di «Varianti alle Norme per le macchine elettriche rotanti» S. 185 e decisioni in proposito.

2) Approvazione e osservazioni al progetto MEC per le Norme sulle macchine rotanti.

27 ottobre, ore 9 - *Sottocomitato 34 «Lampade» - Gruppo di lavoro*; presiede dr. ing. C. Vandoni.

— Esame dettagliato delle bozze «Norme per lampade tubolari a fluorescenza».

27 ottobre, ore 15 - *Sottocomitato 15 «Materiali isolanti» - Riunione plenaria*; presiede prof. P. Regoliosi.



1) Esame 2<sup>a</sup> bozza Progetto Norme per le vernici isolanti (doc. CEI 15/33).

2) Attività internazionale: esame dell'inchiesta fatta per la compilazione di monografie dell'Enciclopedia « Materiali isolanti elettrici » della IEC.

31 ottobre, ore 8,45 - Sottocomitato 9 « Trazione » - Gruppo di lavoro « Norme relative agli apparecchi di protezione e di interruzione »; presiede dr. ing. U. Ferella.

31 ottobre, ore 9 - Sottocomitato 33 « Condensatori di potenza » - Riunione plenaria; presiede dr. ing. E. Carapezza.

1) Relazione sulla Riunione internazionale del TC 33 IEC di Interlaken (28-30 giugno 1961).

2) Costituzione di una Comm. di Studio per il progetto di Norme per piccoli condensatori industriali (avvolgimenti, motori, ecc.).

3) Continuazione discussione sul nuovo Progetto di Norme per i condensatori di potenza.

31 ottobre, ore 10 (presso SpA Edison-Volta, Via Ceresio n. 7, Milano) - Sottocomitato 17 - Comm. n. 2 « Interruttori B.T. »; presiede prof. S. B. Toniolo.

6<sup>a</sup> riunione per la revisione delle Norme 17-5 (ediz. 1957) « Apparecchi d'interruzione destinati alla protezione e alla manovra su impianti industriali a tensione non superiore a 1 000 V per corrente alternata e per corrente continua ».

✱

## Riunione primaverile del 1961 della « Commission Internationale de réglementation en vue de l'approbation de l'équipement électrique » (CEE)

(Oslo, 24 maggio-3 giugno 1961)

Dal 24 maggio al 3 giugno si è svolta ad Oslo la Sessione primaverile della CEE per il 1961 con la partecipazione di delegati dei 15 Paesi membri.

La delegazione Italiana era formata dai Vice-Presidenti del Comitato Nazionale Italiano della CEE comm. Ferrario, ing. Marocchi e prof. Volpi e dagli ingg. Balossi, Barassi, Brambilla, Giussani, Gobbo, sig. Reale, dr. Valdata e ing. Ventrella.

La riunione è stata organizzata dal Comitato Nazionale Norvegese della CEE ed in tale occasione si sono tenute le sedute dei Comitati Tecnici « Prese di corrente e interruttori », « Tubi protettivi », « Cavi isolati », del Comitato per le Regole Generali e dell'Assemblea Plenaria.

Si sono svolte interessanti visite: al nuovo complesso di Laboratori del NEMKO (Istituto Norvegese per il Controllo del materiale elettrico), a complessi industriali ed ai dintorni di Oslo.

### COMITATO TECNICO 22/23 « PRESE A SPINA E INTERRUITORI ».

Il 24 e 25 maggio ha avuto luogo la riunione del Comitato Tecnico: « Prese a spina e interruttori », sotto la presidenza del belga Smoes.

Gli argomenti trattati sono stati: il dimensionamento di una spina bipolare leggera per apparecchi di classe II e formante un corpo unico con il cordone, e la revisione della Pubblicazione 7 « Prese a spina per uso domestico ».

#### Spina bipolare per apparecchi di classe II.

L'attuale Pubblicazione 7 non prevede alcuna spina per apparecchi di classe II, ossia una spina bipolare senza contatto di terra che possa entrare nelle prese con e senza contatto di terra.

Una discussione si era già avuta nella precedente riunione; in seguito un gruppo di lavoro aveva presentato un progetto dimensionale ed alcune prove, con esito piuttosto sfavorevole dal punto di vista dell'inaccessibilità, sono state eseguite su campioni forniti dalla Svizzera.

A conclusione della discussione vengono approvati due tipi di spine:

— la prima con spinotti da 4,8 mm, per 10 o 16 A e 250 V, con profilo esterno frontale identico a quello del foglio di normalizzazione IV, ma senza contatti laterali di terra; inoltre si permette una certa riduzione delle dimensioni frontali, provvedendo però ad una fascia isolante sugli spinotti per una lunghezza di 7 mm. Provvisoriamente in alcuni paesi queste spine avranno spinotti da  $4 \pm 0,06$  mm per poter entrare nelle prese di vecchio tipo ancora in uso;

— la seconda con spinotti da 4 mm, isolati per una lunghezza di  $10^{-0} +1$  mm, per 2,5 A e 250 V. Il diametro della parte isolata degli spinotti viene fissato in 3,5 mm come massimo. Il corpo della spina, alquanto appiattito (spessore 13 mm), quindi è molto leggero.

Queste due spine dal punto di vista della sicurezza sono eguali a quelle già considerate dalla Pubblicazione 7 e quindi non proteggono in modo assoluto contro i contatti accidentali durante l'inserzione.

Il secondo tipo di spina si adatta a tutte le prese europee ed è destinata a piccole apparecchiature come rasoi elettrici. Data l'urgente necessità di queste spine per il mercato europeo, i relativi fogli di normalizzazione verranno presentati al più presto all'Assemblea Plenaria.

Data la scarsa esperienza acquisita finora riguardo a spine con gli spinotti isolati per un tratto vicino all'impugnatura, si pregano tutte le Nazioni di eseguire delle prove di riscaldamento su spine con spinotti da 4 mm, isolati per 11 mm, e connesse a prese con alveoli elastici da 3,5 a 5,3 mm.

#### Revisione della Pubblicazione 7.

Viene dapprima discusso il passaggio del valore della corrente nominale da 10 a 16 A per le prese e le spine dei fogli di normalizzazione da I a VII. Nonostante il parere sfavorevole dei paesi nordici, si decide che le prese del tipo ricordato vengano targate 250 V - 10 A = e 16 A ~, imponendo però che gli alveoli abbiano superfici di contatto protette da corrosione; le spine relative verranno targate nello stesso modo, se gli spinotti avranno la superficie protetta (nichelata) altrimenti dovranno essere targati ancora 250 - 10 A.

Vengono esaminati poi i paragrafi da 1 a 11 del progetto di revisione della Pubblicazione 7, doc. CEE (231-SEC) B 105/61. Al paragrafo 1 (Scopo) si chiarisce meglio che queste norme non si applicano alle spine con prese singole o multiple, ai portalampade con prese e alle spine con portalampade; mentre si applicano limitatamente al ragionevole, agli adattatori ad una via destinati a collegare una presa CEE con una spina di altro sistema, ad esempio americana.

Al paragrafo 4 (Valori nominali) si ammette in via provvisoria la spina da 2,5 A.

Al paragrafo 5 (Classificazione), circa il grado di protezione contro l'umidità, si decide di considerare i tipi normali non protetti, i tipi protetti contro gli spruzzi e quelli protetti contro i getti d'acqua, con la riserva di eliminare il gruppo intermedio dopo esame di un rapporto che verrà inviato dalla Germania tendente a dimostrare come nella pratica non occorrono due tipi differenzialmente protetti.

Si discute a questo punto la *proposta francese di ammettere le prese con i morsetti posteriori*, ossia quel tipo in cui si devono connettere i conduttori ai morsetti, prima di aver installato la presa stessa. La proposta non viene accettata, perchè la soluzione viene giudicata insicura (le attuali norme italiane non permettono tale tipo di connessione).

Su proposta cecoslovacca viene costituito un gruppo di lavoro per l'esame di nuovi fogli di normalizzazione per le prese di tipo semi incastrato.

Al paragrafo 8 (Protezione contro i contatti accidentali) la delegazione italiana propone di aumentare lo spessore del collare delle prese per eliminare completamente il pericolo di contatto accidentale durante l'inserzione della spina; la proposta non viene però sostenuta da nessun'altra delegazione. Viene poi portato da 3 a 1 kg il peso del calibro conico per la prova su spine di materiale termoplastico, per verificare l'impossibilità dell'introduzione di un solo spinotto.

Al paragrafo 11 (Costruzione delle prese) si decide di richiedere definitivamente che gli alveoli elastici adatti agli spinotti rotondi abbiano elasticità da 3,5 mm a 5,3 mm per poter ricevere sia spinotti da 4 mm che da 5 mm. Per quanto riguarda i coperchi delle prese, al punto 11 d) si chiarisce la prescrizione secondo cui essi devono essere fissati da due elementi, dei quali almeno uno deve richiedere l'uso di un utensile. Inoltre si precisa al punto 11 i), che gli organi di fissaggio del coperchio, ad esempio viti, non devono essere perdibili.

A conclusione dei lavori si decide che il Comitato Tecnico si riunirà ancora nella sessione autunnale per portare a termine la revisione della Pubblicazione 7 e per esaminare il 5° progetto di specificazioni per gli interruttori per apparecchi che verrà prossimamente distribuito.



COMITATO TECNICO 031: « REGOLE GENERALI ».

Il 26 e 27 maggio si è riunito ad Oslo il Comitato per le Regole Generali, per l'esame di due progetti di raccomandazioni, uno sui morsetti a vite ed uno sulle linee di fuga e distanze in aria.

Raccomandazioni sui morsetti a vite.

Prima dell'esame particolareggiato del 4° progetto doc. CEE (031) F 102/61, si ha un interessante scambio di idee sull'impostazione generale del lavoro.

Tutti i delegati si trovano d'accordo con quello olandese nel ritenere opportuno che le raccomandazioni del Comitato Regole Generali non debbano richiedere altro che le cose essenziali; si auspica quindi di eliminare tutte le dimensioni che erano date solamente in vista di una buona resistenza meccanica, affidando questo compito alle prove di avvitamento con i prescritti momenti torcenti. Tutto ciò è motivato dal desiderio di rendere le prescrizioni più pratiche e meno rigide.

Il delegato tedesco, dopo aver confermato la validità del concetto, seguito dall'attuale progetto, che ogni morsetto debba poter serrare conduttori di almeno 3 sezioni nominali consecutive, desidera imporre per ogni morsetto una sola dimensione, quella dell'alloggiamento del conduttore, eliminando le dimensioni minime delle viti e lo spessore della parte filettata fissa. Inoltre egli ritiene essenziale il coordinamento fra morsetti e massime correnti nominali ammissibili.

Altro problema di ordine generale che viene affrontato è se sia opportuno o meno far distinzione fra morsetti destinati a collegare conduttori rigidi (massicci o cordati) e quelli destinati a collegare conduttori flessibili. Dopo parecchia discussione si decide di distinguerli, giustificando però in modo più logico la distinzione: morsetti per installazioni fisse (che in genere accoglieranno conduttori rigidi) e quelli per installazioni mobili (che in genere accoglieranno conduttori flessibili). Questa decisione è stata piuttosto contrastata dalla Svezia, in quanto in questa nazione è comune l'uso di conduttori flessibili anche per gli impianti fissi entro tubi protettivi. Altre Nazioni invece hanno dichiarato che per le maggiori sezioni nelle installazioni fisse o usano cavi o usano conduttori cordati, protetti da tubi per i soli tratti rettilinei.

A conclusione della discussione viene approvato il coordinamento fra sezioni dei conduttori, numero di riferimento del morsetto e massime correnti nominali ammissibili:

Sezioni dei conduttori da collegare  mm <sup>2</sup>	Installazioni mobili		Installazioni fisse	
	n° di riferimento del morsetto	corrente nominale ammissib. A	n° di riferimento del morsetto	corrente nominale ammissib. A
0,5	1	0	—	—
0,75	1,5	1	1	6
1	2,5	2	2	10
1,5	4	3	3	16
2,5	6	4	4	20
4	10	6	5	25
6	16	7	6	35
10	25	—	7	63

Si discute poi, ma non viene accettata, una proposta di modifica dei valori di momento torcente per la prova di resistenza meccanica delle viti dei morsetti. Questa proposta è basata sul presupposto che il massimo momento torcente che si può applicare ad un morsetto dipenda dalle dimensioni del conduttore, mentre il progetto del Segretariato giustamente lo considera dipendente dalla dimensione e dal tipo della vite, se con o senza testa, se da usarsi con cacciavite e con chiave.

Essendo terminato il tempo non vengono trattati la parte B (morsetti di terra) ed i fogli di normalizzazione; si pregano però tutte le Nazioni di inviare proposte per l'eliminazione dai fogli stessi delle dimensioni considerate non essenziali.

Raccomandazioni sulle linee di fuga e distanze in aria.

Data la mancanza di tempo non si può esaminare il progetto, doc. CEE (031) F 105/61, ma si fanno solamente alcuni commenti generali, invero non molto favorevoli.

Queste raccomandazioni nascono dall'esigenza di armonizzare fra loro i valori minimi delle linee di fuga e distanze in aria che già compaiono nelle differenti Pubblicazioni CEE, e di facilitare le discussioni per le future Pubblicazioni.

Alcuni delegati lamentano che il progetto, volendo teorizzare queste questioni essenzialmente pratiche, non ha alcun logico fondamento, altri lamentano che i valori sono stati scelti a caso.

In seguito a questa confusione, si prega il Segretariato francese di stendere un nuovo progetto riducendo l'attuale suddivisione a 3 soli gruppi, secondo il pericolo di polluzione, tenendo presente per la futura discussione, solamente gli apparecchi già trattati dalla CEE.

La prossima riunione del Comitato è prevista per la primavera ventura con il programma di portare a termine l'esame del progetto di raccomandazioni sui morsetti a vite e riprendere l'argomento delle linee di fuga e distanze in aria sulla base del nuovo progetto che verrà steso.

COMITATO TECNICO 26: « TUBI PROTETTIVI ».

Il 27 e il 29 maggio, sotto la presidenza del tedesco Lauster, si è riunito il Comitato Tecnico « Tubi protettivi » e si sono esaminati il 3° progetto di « Specificazioni per i tubi di acciaio e accessori per installazioni elettriche » e il 2° progetto di « Specificazioni per i tubi rigidi di p.v.c. e accessori per installazioni elettriche ».

Tubi di acciaio.

Le principali modifiche apportate al progetto vengono riportate qui di seguito.

Al paragrafo 6, per quanto riguarda la verifica degli spessori, solo quattro paesi (Francia, Italia, Ungheria e Polonia) si pronunciano in favore della misura diretta. Gli altri otto paesi sono del parere che sia sufficiente una verifica indiretta mediante pesatura, applicando al peso le stesse tolleranze ammesse per gli spessori e in questo senso si decide, stabilendo che la verifica si effettui su un totale di 40 m di tubo.

Al paragrafo 7, viene accettata la proposta italiana di ammettere che nei tubi saldati il cordone di saldatura interno sia visibile purché non presenti asperità suscettibili di danneggiare l'isolamento dei cavi.

Al paragrafo 8, viene ripreso l'argomento già discusso nelle precedenti riunioni in merito alle prove di curvatura sui tubi. Si decide:

- 1) tutti i tubi filettati verranno provati secondo un raggio di curvatura = 6 volte il diametro esterno con l'apparecchio descritto nel 3° progetto;
- 2) i tubi lisci fino a 25 mm di diametro esterno verranno provati con  $r = 6d$  e con l'apparecchio del 3° progetto;
- 3) i tubi lisci oltre 25 mm di diametro esterno verranno provati con raggio  $r = 6d$  ma con un apparecchio diverso da specificare.

Per i tubi saldati si decide che vengano effettuate due sole prove, una con la saldatura all'esterno ed una con la saldatura disposta su uno dei lati.

Per la calibratura dei tubi dopo la piegatura si decide che la sfera di prova deve passare con una luce libera non inferiore all'80% del diametro iniziale qualunque sia la posizione della saldatura.

Al paragrafo 9, su proposta della delegazione francese si decide in linea di massima che i gradi di protezione contro la ruggine siano 3 (anziché 2 come proposto nel progetto) e precisamente:

- 1) tubi protetti solo per magazzinaggio e trasporto;
- 2) tubi protetti anche in vista dell'installazione;
- 3) tubi zincati.

Circa gli spessori il progetto prevede due serie di tubi, quella pesante e quella leggera, di cui solamente la prima è destinata ad essere filettata. La delegazione britannica però conferma di non poter accettare la filettatura metrica ISO proposta dal Segretariato e insiste affinché venga adottata la normale filettatura gas, anch'essa unificata dalla ISO, ma che richiede spessori più elevati. Il motivo addotto è quello già noto, ossia che nel Regno Unito il tubo di acciaio viene usato come conduttore neutro a terra e pertanto



occorre che la filettatura assicuri il contatto migliore possibile. Secondo l'opinione dei delegati inglesi, che si dilungano ad illustrarla, questa pratica consente di realizzare nel complesso una economia di impianto.

L'osservatore U.S.A. conferma che anche nel suo paese questa pratica viene seguita.

Tutte le altre nazioni però non sono d'accordo, considerato che gli spessori adottati nel 3° progetto rappresentavano già un compromesso fatto per andare incontro al Regno Unito.

Vista l'irrimovibilità della delegazione inglese, il Presidente propone che le dimensioni del 3° progetto vengano accettate almeno come raccomandazione. Allora la delegazione francese propone di adottare, come raccomandazione, i diametri del 3° progetto, ma gli spessori della serie PG che sono molto più economici, con la filettatura speciale ad angolo di 80°. Tutte le nazioni prontamente accettano questa soluzione salvo naturalmente il Regno Unito e la Norvegia, che sostiene il punto di vista inglese.

#### Tubi in p.v.c.

La discussione di questo progetto non viene terminata, comunque si ha uno scambio di idee sugli argomenti principali.

Per quanto concerne le tabelle dimensionali, tutte le delegazioni si dichiarano d'accordo di adottare gli stessi diametri esterni dei tubi di acciaio (eventualmente con eliminazione di qualche grandezza fra quelle più raramente richieste), mentre sulla questione degli spessori vi sono molte divergenze di vedute sia in merito all'opportunità di adottare una serie leggera ed una serie pesante, sia in merito agli spessori da prescrivere.

Dopo qualche discussione sembra accolta con favore dalla maggioranza la proposta del delegato olandese di non fissare gli spessori, ma di riferirsi alle prove limitandosi a controllare il diametro esterno con un manico calibrato e il diametro interno con una sfera scorrevole.

#### COMITATO TECNICO 10: «CAVI ISOLATI».

La riunione del Comitato Tecnico «Cavi isolati» ha avuto luogo nei giorni 30 e 31 maggio, sotto la Presidenza del prof. Van Staveren.

Qui vengono riportati solamente i più importanti argomenti fra i molti discussi durante le sedute.

#### Sezioni e formazioni dei conduttori flessibili.

Viene illustrato il documento CEE (10 SEC) 111 NL/61 preparato da un gruppo di lavoro, per la unificazione delle sezioni e formazioni dei conduttori flessibili e cordati; il documento dà una corrispondenza fra le sezioni, il numero di fili componenti elementari o il loro massimo diametro e la massima resistenza ammissibile. Il progetto viene approvato con piccole modifiche.

#### Caratteristiche meccaniche della mescola isolante sintetica a base di SBR (gomma stirolica).

Viene discusso il documento francese CEE (10) F 104/61, che propone di variare gli attuali valori delle caratteristiche meccaniche dopo invecchiamento, che si adattano bene alla gomma naturale, ma non a quella sintetica. Viene anzitutto deciso di ammettere come temperatura di esercizio della gomma sintetica il solo valore di 60 °C, mentre era stato proposto 75 °C; circa l'invecchiamento viene deciso di effettuare una prima prova in stufa, che serva anche a distinguere una gomma sintetica da una naturale e poi una prova in bomba ad ossigeno più o meno severa secondo i risultati della prima prova. I valori sono i seguenti:

##### Valori iniziali.

CR	kg/mm <sup>2</sup>	0,5
AR	%	250

##### Invecchiamento in stufa ad aria per 240 h a 70 °C.

CR	kg/mm <sup>2</sup>	0,5	A	— 35/40	B
AR	%	250			
ΔCR	%	± 20/25			
ΔAR	%	± 20/25			

##### Invecchiamento in bomba ossigeno per 96 h a 70 °C.

CR	kg/mm <sup>2</sup>	0,5	C	— 25	D
AR	%	250			
ΔCR	%	± 35/40			
ΔAR	%	± 25/30			

Se la mescola soddisfa ai valori A (che sono gli attuali limiti della CEE), basta che soddisfi ai valori C (che sono pure gli attuali limiti della CEE). Se non soddisfa ai valori A ma ai valori B, allora deve soddisfare ai valori D (che sono quelli dell'ASTM per la gomma sintetica 60 °C e dell'IEC r8, e che sono — almeno in un punto — più severi dei valori C). Se non soddisfa neanche ai valori B, è respinta senz'altro. Nei casi ove sono dati due valori per i decadimenti il primo si riferisce a conduttori a filo, il secondo a corde.

Dalla delegazione italiana vengono avanzate le seguenti proposte, le quali però non sono accettate:

1) Di non fare la prova in stufa ad aria se la mescola è dichiarata sintetica.

2) Di non indicare il CR e AR residui dopo invecchiamento in stufa, ma solo i decadimenti.

3) Come in 2), ma dopo la prova in bomba ad ossigeno. La terza proposta messa ai voti è respinta per 7 voti contro 5.

La Francia fa quindi delle riserve circa la possibilità di rispettare le prescrizioni per la gomma sintetica: la realtà è diversa, come risulta dalle prove fatte dai paesi che usano gomma sintetica su larga scala (Francia e Italia) e che hanno risultati ottenuti sulla produzione e non in laboratori. Viene ricordato inoltre che la decisione di mantenere un carico ed allungamenti residui è stata presa con lieve maggioranza.

Il Presidente ricorda che prima dell'Assemblea Plenaria vi è tempo per fare delle prove e per ritornare sulle decisioni.

#### Proposte di variazione del decadimento del carico ed allungamento a rottura nei cavi di gomma.

Si ricorda che sono state effettuate delle prove comparative in 5 diversi laboratori. La delegazione italiana fa notare le grandi dispersioni dei risultati ottenuti (fino al 50%); è per questa ragione che si è sempre insistito ad allargare i limiti previsti dalle Norme. Viene inoltre ricordato che in Italia viene controllata periodicamente dall'Istituto del Marchio di Qualità una percentuale della produzione dei vari cavi e che, poichè tale produzione presenta una notevole dispersione, risulta oneroso rientrare nei limiti prescritti. Negli altri paesi, ad esempio Francia e Germania, ci si limita a controllare un campione per l'approvazione: viene quindi suggerito che anche gli altri laboratori controllino la produzione. È inoltre proposto di ripetere il ciclo di prove comparative. Viene quindi costituito un Gruppo di lavoro composto da 6 paesi NL, S, DK, F, B e I che rifaranno le prove su cavi inviati dagli stessi paesi.

#### ASSEMBLEA PLENARIA.

Dal 1° al 3 giugno si è tenuta la riunione dell'Assemblea Plenaria sotto la presidenza del prof. Van Staveren.

Vengono qui riportate solamente le conclusioni e le discussioni più importanti.

Viene dapprima approvata all'unanimità l'ammissione della Grecia alla CEE; il numero dei paesi membri sale a 16. Si dà notizia pure dei passi compiuti dal Comitato Elettrotecnico Jugoslavo per una sua futura ammissione.

#### Norme ISO sui frigoriferi domestici.

Si parla quindi delle relazioni tra ISO, IEC e CEE circa la preparazione di una normalizzazione sui frigoriferi domestici; l'iniziativa è partita dalla ISO, e la parte normativa riguardante i circuiti elettrici è stata affidata alla IEC. La CEE d'altra parte tratta già questo argomento nella Pubblicazione 10 ed ora si auspica che nelle Nazioni appartenenti alla CEE ci sia collaborazione fra CEE e IEC in modo che le nuove Specificazioni non siano in contrasto con la Pubblicazione 10.

#### Norme di qualità.

Si discute poi la richiesta avanzata dalla Francia che la CEE introduca nelle sue Norme delle prescrizioni riguardanti la qualità mentre attualmente dette Norme riguardano quasi esclusivamente la sicurezza delle apparecchiature. Dopo qualche contrasto si decide che solamente dopo aver attuato la revisione delle Pubblicazioni 10 ed 11, che sono le più importanti per la questione (Apparecchi elettrodomestici), si studieranno dei metodi di prova comuni per determinare le varie prestazioni degli apparecchi, ma non si fisseranno dei limiti.



*Specificazione IEC sui fusibili per uso domestico.*

Viene presentato un progetto della IEC sottoposto all'approvazione secondo la regola dei 6 mesi, sui fusibili per uso domestico; tale progetto è stato ricavato dalla Pubblicazione 16 della CEE ed è praticamente identico ad essa; uscirà come Pubblicazione comune IEC-CEE. Non viene inviata nessuna osservazione alla Segreteria della IEC.

*Modifiche alle Pubblicazioni 2 e 13 della CEE.*

Vengono esaminate brevemente ed approvate tutte le modifiche che erano state presentate dal Comitato Tecnico Cavi isolati per le nuove Pubblicazioni 2 e 13 sui cavi isolati in gomma ed in PVC.

*Nuovo « Certification Scheme ».*

Si esamina un progetto presentato dall'OAR (Organismo di Approvazione Reciproca) che prevede delle agevolazioni per ottenere l'approvazione di una data apparecchiatura nelle varie Nazioni che aderiranno allo schema; il progetto prevede l'esecuzione delle prove in due laboratori secondo le Norme CEE. Con il certificato relativo a queste prove, se positive, si potrà ottenere l'approvazione in qualsiasi altra nazione aderente allo schema, necessitando l'esecuzione solo di quelle prove che le singole norme nazionali richiedono in più delle comuni Norme CEE.

Alcune Nazioni, fra cui l'Italia, insistono per ridurre ad una le prove richieste per l'ottenimento del certificato preliminare. In generale però si preferisce iniziare l'applicazione di questo schema facendo le prove presso due laboratori, anche per sperimentare se i risultati saranno sufficientemente uniformi.

Il progetto viene così approvato e si fa notare che la sua applicazione spingerà i vari paesi ad una sempre maggiore armonizzazione delle norme nazionali. Si conferma poi, nonostante l'esitazione dei tedeschi, che tale schema potrà essere utilizzato anche da costruttori appartenenti a Nazioni non membri delle CEE.

*Progetto « Connettori per usi domestici ».*

Viene esaminato ed approvato il progetto dei « Connettori per uso domestico », dopo aver apportato alcune modifiche di carattere non sostanziale. Il progetto prevede:

- un piccolo connettore da usarsi con cavetti in similrame per rasoi elettrici e simili (bipolare con spinotti tondi);
- un connettore da 2,5 A, i cui fogli di unificazione vengono per il momento sospesi;
- un connettore per condizioni fredde e per apparecchi di classe II, da 6 A (bipolare con spinotti piatti);
- un connettore per condizioni calde da 10 A (bipolare con e senza terra).

È previsto per un prossimo futuro anche un connettore da 16 A. Il progetto verrà pubblicato quanto prima.

*Statuto e Regole di procedura.*

Viene in seguito esaminato brevemente ed approvato l'ultimo progetto dello Statuto e delle Regole di procedura della CEE con piccole modifiche. Il testo verrà pubblicato quanto prima.

*Future elezioni.*

Nella prossima riunione dell'Assemblea Plenaria a Copenhagen si dovrà procedere alle seguenti elezioni:

- il Presidente della CEE
- il Vice Presidente della CEE (necessario secondo il nuovo statuto)
- il Segretario della CEE
- il Presidente del Comitato Tecnico « Cavi isolati »
- il Presidente del Comitato Tecnico « Apparecchi di cottura e di riscaldamento ».

*Studio degli effetti delle elettrocuzioni.*

Era stato presentato un documento di M. Biegelmeier sulle attuali conoscenze e studi eseguiti circa gli effetti delle elettrocuzioni sul corpo umano; il documento termina con una tabella con alcuni valori di corrente e di durata corrispondente, che sarebbero da considerarsi i limiti sopportabili dal corpo umano. Lo studio viene apprezzato molto e ne viene ribadita l'utilità come base di discussione per molti

argomenti trattati dalla CEE; però alcuni delegati ed in particolare il francese M. De Looze sottolineano l'estrema delicatezza dell'argomento e la non competenza della CEE nel pubblicare eventuali valori limiti da considerarsi « non pericolosi ».

*Prossima riunione di Copenhagen.*

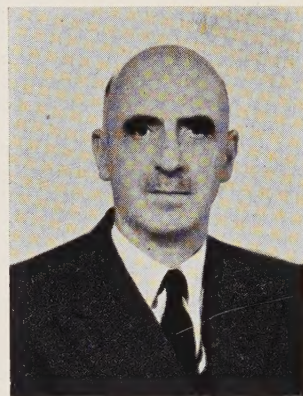
Viene poi presentato il programma della prossima riunione della CEE che avverrà a Copenhagen dal 6 al 16 novembre 1961, con la partecipazione dei Comitati Tecnici: « Corpi illuminanti », « Prese a spina », « Cavi isolati », « Apparecchi di cottura e riscaldamento », « Apparecchi elettrici a motore » e dell'Assemblea plenaria.

## NECROLOGIO

Il 30 ottobre u.s. è spirato improvvisamente a Venezia, il

**dr. ing. CARLO SEMENZA**

Era nato a Milano il 9 luglio 1893. Laureatosi a Padova nel 1919, la sua attività si svolse nel campo delle costruzioni idrauliche e idroelettriche presso la Società Adriatica di Elettricità (SADE), Venezia, di cui era Direttore del Ser-



vizio Costruzioni Idrauliche e uno dei Direttori Centrali, con l'incarico e la piena responsabilità della progettazione generale dei nuovi impianti idroelettrici e della supervisione della loro costruzione.

La sua profonda competenza e l'importanza dei lavori eseguiti gli aveva procurato larghissima rinomanza fra i tecnici non solo in Italia ma anche all'estero. Per la Sua autorevolezza era stato chiamato a molte importanti cariche ed era stato oggetto di numerosi riconoscimenti.

L'ing. C. Semenza era infatti anche Vicepresidente dell'ISMES (Istituto Sperimentale Modelli e Strutture) di Bergamo; Membro del Comitato di consulenza della « Electroconsult », Società di consulenza per impianti idro e termoelettrici, Milano; Vicepresidente del Comitato Italiano delle Grandi Dighe; Presidente di Commissione Tecnica e membro del Comitato Tecnico Centrale della Sezione Tecnologica dell'ANIDEL; Consigliere dell'Associazione Geotecnica Italiana.

Era anche membro dell'Associazione degli Ingegneri Civili Americani (ASCE) e degli Ingegneri Civili Inglesi (ICE), ed era stato insignito della medaglia d'oro Telford dell'ICE nel 1953 e della Rickey Medal dell'ASCE, nel 1957. Era anche medaglia d'oro dell'Università di Padova, Dottore h.c. in ingegneria della München Technische Hochschule (1954) e del Politecnico di Milano (1959); medaglia d'oro dell'Associazione Industriali di Venezia e della Camera di Commercio di Venezia. L'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti lo annoverava fra i suoi soci effettivi.

La sua attività di tecnico si è esplicata in Italia e all'estero su larghissima scala nel campo degli impianti idroelettrici e delle dighe.



In Italia, l'ing. Semenza ha progettato schemi generali di impianti idroelettrici, attualmente già costruiti e in esercizio da parte della SADE, per una potenza totale di circa 1 000 000 kW. Come membro di vari Comitati Tecnici di Direzione, ha inoltre progettato e costruito altri impianti per circa ulteriori 500 000 kW.

In particolare, ha progettato e costruito con piena responsabilità i lavori di ingegneria civile dei predetti impianti della SADE, fra i quali 17 grandi dighe, 20 centrali e 250 km di gallerie e canali.

Fra le dighe, le più importanti sono la diga di Pieve di Cadore dell'altezza massima di 112 m, una delle prime grandi dighe ad arco-gravità; la diga del Lumiei dell'altezza di 136 m; le dighe di Val Gallina e di Pontesei e la diga del Vaiont, da poco ultimata, che raggiunge l'altezza di 265 m ed è pertanto la più alta diga ad arco del mondo. Fra le centrali più importanti si ricordano qui Soverzene e Somplago, nel Veneto, che vanno annoverate fra le più moderne e potenti centrali in caverna italiane. Fra le opere di derivazione ricordiamo la rete di gallerie dell'impianto Piave-Boite-Maè-Vaiont nel quale la sola galleria principale ha una lunghezza di quasi 27 km, con diametro fra 4,50 e 4,70; nonché il complesso sistema di derivazione per l'impianto Medio Tagliamento che ha attualmente un'estensione di circa 40 km, tutto in galleria.

All'estero, la sua attività si concretò in numerose consulenze, specialmente in Grecia, Spagna, Germania, Giappone, Messico, Nicaragua, Venezuela, Iran, Iraq, Pakistan, Perù. In particolare, nel 1954 fu nominato esperto dell'Assistenza Tecnica dell'ONU per i problemi idroelettrici della Jugoslavia; nel 1957-58 progettò, su incarico della Kansai Electric Power Co. di Osaka, e come membro del Comitato di consulenza della « Electroconsult », la grande diga di Kurobe in Giappone, una delle più importanti dighe del mondo. Inoltre, sempre per la « Electroconsult », ha studiato il progetto delle due dighe di Soledad e S.ta Rosa nel Messico, ha partecipato alla progettazione della diga del Dez per l'Iran, della diga di El Frayle in Perù, dell'impianto di Jacui in Brasile e numerosi altri.

Una cinquantina di Sue pubblicazioni in diverse lingue, tecniche e scientifiche, sono state stampate in America, Inghilterra, Jugoslavia, Francia, Germania, India, Brasile, oltre che in Italia, e stavano per esserlo in URSS. Molte sue conferenze e lezioni, dalla Cina, all'India, al Sudamerica, hanno contribuito a diffondere il suo eccezionale sapere e insieme il buon nome della tecnica italiana.

Oltre che dalla sua brillantissima e fervida intelligenza, la sua instancabile esistenza fu improntata da una profonda umanità, da una squisita gentilezza e modestia, che toccavano profondamente chiunque lo incontrasse. La sua memoria vivrà a lungo non solo per le sue eccezionali doti di tecnico, ma per la sua intera personalità di uomo.

L'AEI che si onorava di averlo nelle sue file fin dal 1919 si unisce all'unanime cordoglio.

## ATTIVITÀ DELLE SEZIONI

### SEZIONE DI BOLOGNA (Borsa di Commercio, 24 B).

8 luglio 1961 - ore 20,30 — Cena sociale.

15-16 luglio 1961 — Gita sociale in Cadore per la visita alla diga del Vajont e alla Centrale di Soverzene della Sade.

### SEZIONE DI GENOVA (Piazza Fontane Marose, 6).

21 ottobre 1961 — Visita alla centrale termoelettrica di La Spezia.

### SEZIONE DI MILANO (Via del Politecnico, 10).

27 ottobre 1961 - ore 21 — Solenne commemorazione del prof. Angelo Barbagelata. La commemorazione è stata tenuta dal prof. Giovanni Sameda.

9 novembre 1961 - ore 21 — Conferenza del dr. ing. Claudio CASTELLANI, sul tema: « Bilanci energetici ».

### SEZIONE DI NAPOLI (Via Mezzocannone, 16).

18 giugno 1961 — Gita sociale al Bussento con visita della diga e della centrale dell'impianto idroelettrico del Bussento della S.M.E.

30 giugno 1961 - ore 18,15 — Conferenza dell'ing. Licio SASSARDI, sul tema: « La teoria dei servomeccanismi applicata all'organizzazione aziendale ».

1 luglio 1961 — Visita allo stabilimento di S. Giorgio a Cremano della CONE.

### SEZIONE PUGLIESE (Via Crisanzio, 42).

19 luglio 1961 — Alle ore 17 in prima convocazione e alle ore 18,30 in seconda convocazione ha avuto luogo l'Assemblea Generale dei Soci.

Dopo la Assemblea, conferenza dell'ing. Licio SASSARDI, sul tema: « La tecnica dei servomeccanismi applicata all'organizzazione aziendale ».

### SEZIONE DI ROMA (Via Giolitti, 34).

26 ottobre 1961 - ore 19 — Conferenza tenuta dal dr. ing. Dino BATTAGLIA, sul tema: « Recenti sviluppi teorici e pratici dell'uso dell'esafuoruro di zolfo come mezzo di estinzione dell'arco ».

7 novembre 1961 - ore 19 — L'ing. dr. Henry SOUBIES-CAMY, ha tenuto una conferenza sul tema: « Le telemisure e i telecomandi moderni ».

9 novembre 1961 - ore 18,30 — L'ing. dr. Henry SOUBIES-CAMY, ha tenuto una conferenza sul tema: « Problemi particolari relativi alla utilizzazione delle telemisure e dei telecomandi moderni ».

10 novembre 1961 - ore 19 — Conferenza tenuta dal dr. ing. Henry SOUBIES-CAMY, sul tema: « L'elettronica nelle apparecchiature di controllo delle centrali termiche ».

### SEZIONE SARDA (Piazza Deffenu, 3 - Cagliari).

27 ottobre 1961 - ore 19 — Conferenza del dr. ing. Corradino CORRADO, sul tema: « Il Nilo: idrologia e possibilità di utilizzazione ».

### SEZIONE DI TRIESTE (Via dell'Annunziata, 7).

27 ottobre 1961 - ore 21 — Consuetudine riunione mensile sul tema: « Unificazione nazionale delle tariffe dell'energia elettrica ».

3-4 novembre 1961 — Gita sociale con visita agli stabilimenti « Rex » di Pordenone, alla scuola del Musaico di Spilimbergo, alla diga di Ambiesta e alla centrale idroelettrica di Somplago della Sade.

## Precisazione

Gli alternatori dell'impianto di Serre-Ponçon. Nell'articolo di M. Medici intitolato « Motori primi idraulici nell'anno 1960 », pubblicato nel N. 4 (aprile 1961) a pag. 282 è stata pubblicata la fig. 12 con la dicitura « Sezione principale delle turbine Francis Riva-Jeumont dell'impianto di Serre-Ponçon ».

Poichè nella figura appare anche la sezione dell'alternatore, siamo pregati di precisare che gli alternatori dell'impianto di Serre-Ponçon sono stati costruiti dalla Società Alsthom.

**SONO RICHIESTE ANNATE COMPLETE ARRETRATE DELLA RIVISTA ALTA FREQUENZA DEGLI ANNI 1932 E SEGUENTI SINO AL 1943 COMPRESO INOLTRE LE ANNATE 1947-1955-1956 E 1958.**

**COLORO CHE FOSSERO DISPOSTI A CEDERLE SONO PREGATI DI SCRIVERE ALL'UFFICIO CENTRALE DELL'AEI - CEI.**